

جمهورية مصر العربية
وزارة التربية والتعليم
قطاع الكتب

الفيــزيــاء

للصف الثانى الثانوى

لجنة إعداد الكتاب المطور

أ.د. مصطفى كمال محمد يوسف
أستاذ الفيزياء المتفرغ
كلية العلوم جامعة المنصورة

أ.د. محمد سامح سعيد
أستاذ ورئيس قسم الالكترونيات والاتصالات
كلية الهندسة - جامعة القاهرة

د. مصطفى محمد السيد محمد
أستاذ م. الفيزياء بكلية تربية عين شمس

د. طارق محمد طلعت سلامة
مدرس الفيزياء بكلية العلوم - جامعة الزقازيق

أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد
موجه عام الفيزياء بمكتب مستشار العلوم

لجنة التعديل

أ.د / محمد أحمد كامل
أستاذ الفيزياء
جامعة عين شمس

أ / صدقة الدردير محمد
موجه عام الفيزياء
بمكتب مستشار العلوم

علاء الدين محمد أحمد عامر
موجه عام

جميلة عبد السميع محمود
خبير بالمعاش

مستشار العلوم
أ. إلهام أحمد إبراهيم

طبعة ٢٠١٤ / ٢٠١٥ م

المقدمة

الفيزياء هى ركيزة العلوم الأساسية، فكلمة فيزياء تعنى فهم طبيعة هذا الكون من حولنا وما يجرى فيه كبيرًا وصغيرًا. وهى أصل العلوم ويتشابك معها علم الكيمياء الذى يختص بفهم التفاعلات بين المواد، وعلم البيولوجى ويختص بما يحدث فى الكائنات الحية. وعلم الجيولوجيا ويعنى بفهم طبقات الأرض.وعلم الفلك ويعنى بالأجرام السماوية. ولكن فى النهاية تبقى الفيزياء أم العلوم وهى أساس التقدم العلمى والتكنولوجى الهائل. وفهم الفيزياء يعنى فهم القوانين الحاكمة لهذا الكون وهو ما أدى إلى النهضة الصناعية الحضارية التى يقودها الغرب الآن. ولم يكن العرب والمسلمون عامة قادة الحضارة فى العالم إلا بإدراكهم لقيمة فهم قوانين هذا الكون. وكان لهم فضل اكتشاف معظم قوانين الفيزياء قبل الغرب بقرون. وما أسس الطب والفيزياء والكيمياء والفلك والرياضيات والموسيقى إلا من وضع علماء العرب والمسلمين.

إن فهم الفيزياء و تطبيقاتها يحول المجتمع من مجتمع ضعيف وفقير ومتخلف إلى مجتمع قوى وغنى ومتقدم. وهذا ماحدث بالفعل فى أوروبا وأمريكا واليابان. الكمبيوتر والأقمار الصناعية والتليفون المحمول والتليفزيون كل هذه من ثمار علم الفيزياء. ثم إنهم يبحثون الآن فى تركيب الجينات وتصنيع كمبيوتر بالشفرة الجينية. وقريبًا يتم تصنيع كمبيوتر باستخدام الذرة والليزر.

إنه عالم رحب لا حدود للخيال فيه. والذى يجهله إنما يحكم على نفسه بالفناء فى عالم لايعترف إلا بسطوة العلم وقوة الفكر وروعة الإبداع. إن التقدم العلمى ثمرة لسلسلة طويلة من الاكتشافات، إذ لم يأت هذا التقدم فجأة ولكنه رصيد متراكم. فالعلم مشروع جماعى. كل من ساهم فيه كان لا بد له أولاً أن يستوعب ما حققه الآخرون قبله. وتتابعيًا تم بناء هذا الصرح العظيم من تراكم الخبرة الإنسانية عبر التاريخ. ولكن المطلوب من طالب العلم فى هذا العصر أن يلم وبسرعة بما سبق تراكمه من معرفة فى فترة زمنية وجيزة حتى يمكنه أن يضيف جديدًا فى فترة حياته وهى أولاً وآخرًا فترة محدودة. كيف إذًا يمكن حصر كل ما سبقنا فيه الأولون فى فترة دراسية محددة حتى نفهم ثم نضيف؟ من حسن الحظ أننا فى دراستنا لما سبقنا فيه الأولون نأخذ خلاصة ما وصلوا إليه ونغض الطرف عن سنوات طويلة من تفاصيل العناء والبحث والتجربة والمشاهدة والمحاولات والإخفاقات. نأخذ فقط ما صح من النتائج وما انتهى إليه الآخرون قبلنا وبما استقر عليه الفهم بعد أن نضج العقل البشرى على مدى القرون. ومن ثم فعلينا أن نركز على المفاهيم الأساسية فى هذا البحر الزاخم ونترك التفاصيل لما بعد، فلا يمكن أن يلم أحد بكافة تفاصيل العلم ولو قضى حياته كلها فى فرع صغير من فروع أى علم من العلوم. ولكننا لا بد أن نركز على عدد محدود من المفاهيم الرئيسية والمرجعية، ونمهد لما بعدها.

ينقسم هذا الكتاب إلى ثلاث وحدات:

الوحدة الأولى تتناول الموجات وهى أساس كل الاتصالات فى هذا الكون. ومن ثم يتناول الفصل الأول أساس الحركة الموجية. ولفات الضوء هو أحد صور الموجات الكهرومغناطيسية، مثل: موجات الإذاعة والتليفزيون، و أساس عمل أجهزة التليفون المحمول،

والتواصل مع والمحطات الفضائية عبر الأقمار الصناعية.

أما الوحدة الثانية فتتناول خواص الموائع وهى السوائل والغازات وهى امتداد لقوانين الميكانيكا التى سبق دراستها فى الصف الأول من التعليم الثانوى العام ولكن فى حالة الموائع . ويختص الفصل الرابع بالموائع الساكنة. والفصل الخامس بالموائع المتحركة.

تتناول الوحدة الثالثة الحرارة ويتم دراسة قوانين الغازات فى الفصل السادس.

ولقد روعى فى هذا الكتاب ما يلى:

١- إزالة الحشو والتفاصيل غير الضرورية فى هذه المرحلة الدراسية والتركيز على المفاهيم العامة وترك الزيادات التى لا تصب مباشرة فى الفهم العام للموضوع.

٢- البدء بالموجات باعتبارها الموضوع الأعم حيث تتطلب الموجات وسطًا ماديًا (فى حالة الصوت) أو لا تتطلب هذا الوسط (مثلاً فى حالة الضوء). تليها وحدة الموائع باعتبارها حالة خاصة للوسط وما قد يحدث فيه من اهتزازات أو انتقال جسيمات الوسط من مكان لآخر.

٣- بدأ فصل الحرارة بقوانين الغازات

٤- يتميز الكتاب بإضافة أمثلة على التطبيقات اليومية المحسوسة توضيحًا للمفاهيم الفيزيائية من الواقع سواء فى النص أو كمعلومات إثرائية لربط النظرية بالتطبيق على أن تبقى هذه المعلومات الإثرائية غير ملزمة فى الإمتحان ويظل دورها من قبيل التشويق العلمى.

٥- يحتوى الكتاب على عدد هائل من الصور المحدثة الواضحة مذيلة بتوصيف لكل صورة. كما تم إخراج الكتاب فى أربعة ألوان طبقًا للمقاييس العالمية فى الكتب المدرسية المتطورة.

٦- يحتوى الكتاب على العديد من الأمثلة المحلولة والأسئلة والتمارين وكلها تقوى الإدراك لدى الطالب بالمعنى الفيزيائى والفهم العميق للمفاهيم الأساسية.

٧- ذيل الكتاب بستة ملحقات عن الرموز والأبعاد والوحدات والثوابت الفيزيائية والبادئات القياسية والحروف الأبجدية اليونانية وأسماء بعض العلماء وإنجازاتهم وبعض المواقع الخاصة بالفيزياء على الإنترنت.

٨- روعى فى الكتاب أن تكون المعادلات باللغة الإنجليزية والمصطلحات باللغتين العربية والإنجليزية وجميع الوحدات المستخدمة طبقاً للنظام الدولى.

٧- وقد قام المركز الاستكشافى للعلوم الفرع الرئيسى ـ حدائق القبة ـ بالتجهيزات الفنية والإخراج الفنى لهذا الكتاب طبقاً للمواصفات العالمية للكتب الدراسية المطورة.
مع مراعاة ألا يزيد عدد الاسطر فى الصفحة الواحدة عن ٢٤ سطر لإراحة العين، والإكثار من الصور المعبرة عن المادة العلمية، والاهتمام بتصميم الغلاف كعامل جذب للطالب.

وفى النهاية نوجه رسالة إلى الطالب بأن يأخذ علم الفيزياء بحب لأن فهم الفيزياء هو فهم كل ما حولنا فى الحياة وكل الاختراعات التى نتعامل معها وتلك التى ستخرج الى النور فى المستقبل القريب. ورسالة للمدرس بأن يكون تدريس الفيزياء بحب وبأسلوب مبنى على نقل المفاهيم لا تلقين الدروس مع ربط كل مفهوم بالمشاهدات اليومية ليكون التعلم مشوقا ومفيدا. فقد يكون بين هؤلاء الطلبة أمامك من سيخرج فى المستقبل القريب بإذن الله ليكون علما تتحدث عنه الدنيا ويتحدث هو عنك بالفضل والعرفان على أنه فى يوم من الأيام تعلم على يديك وفهم أصول العلم منك وأنك أنت الذى مهدت له الطريق . وكفاك بهذا فخرًا.

لجنة إعداد منهج الفيزياء

أ.د. مصطفى كمال محمد يوسف

أ.د. محمد سامح محمد سعيد

د. مصطفى محمد السيد محمد

د. طارق محمد طلعت سلامة

أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد

المحتويات

الوحدة الأولى

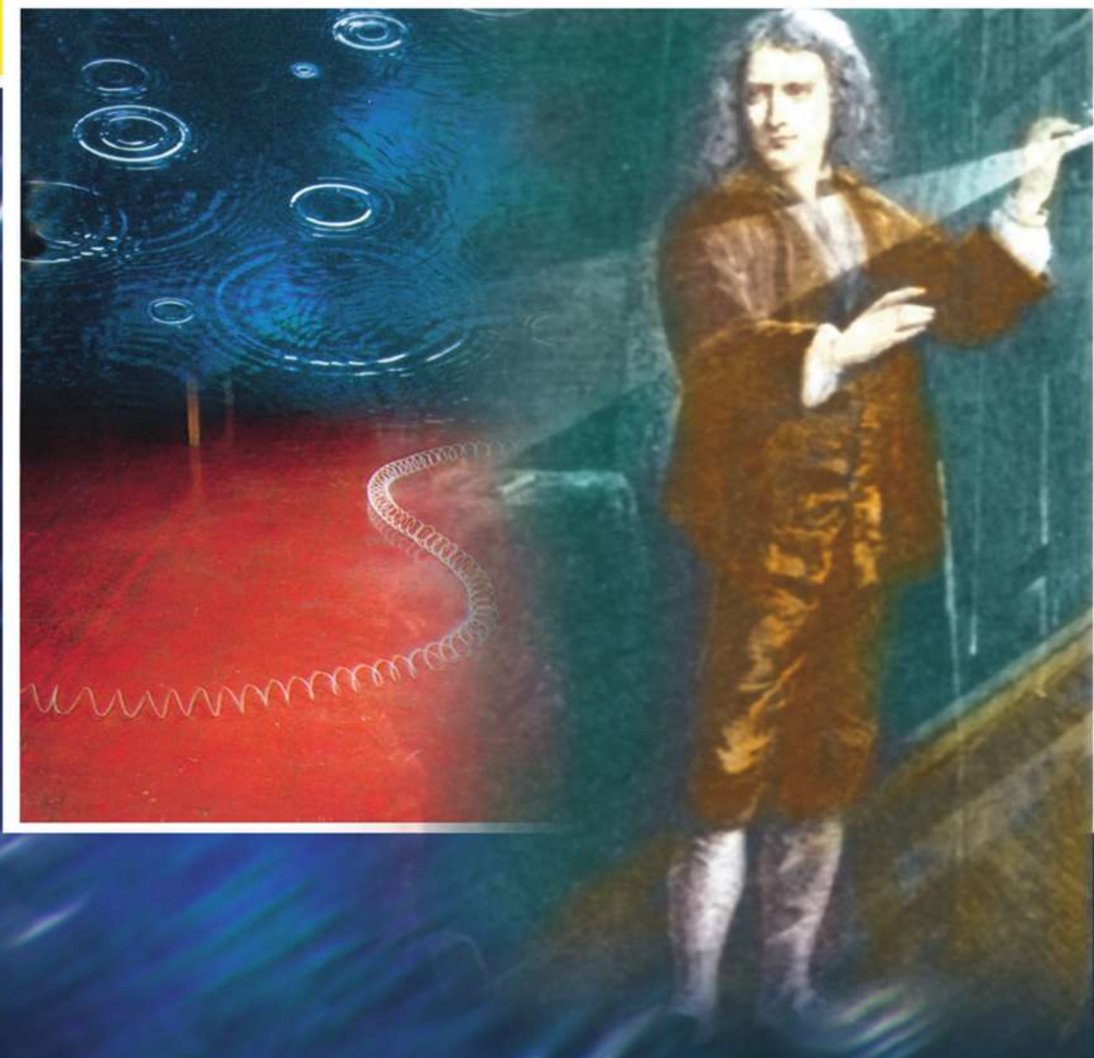
الموجـــات

الفصل الأول : الحركة الموجية

الفصل الثانى : الضـــــوء

الوحدة الأولى

الموجات



الفصل الأول : الحركة الموجية

الوحدة الأولى المـوجــات Waves

الفصـل الأول الحــركــة المــوجــيــة Wave Motion

مقدمة :

يجد بعضنا متعته فى مراقبة الموجات تتهادى فوق سطح الماء، تداعب عوامة صغيرة لشص (سنارة) يستخدم فى صيد السمك، أو تضرب بخفة قَاربًا صغيرا فيتارجح القارب ويهتز، ويجد بعضنا الآخر متعته فى الجلوس على شاطىء بُحيرة أو بركة يلقى فى الماء - من آنٍ لآخر - حصاة صغيرة؛ فيكون تصادم كل حصاة مع سطح الماء بمثابة مصدر اضطراب ينتشر فوق سطح الماء على هيئة دوائر منتظمة، مركزها موضع سقوط تلك الحصاة (شكل ١-١). وهو ما اصطلحنا على تسميته بالموجات. فالموجة هى اضطراب ينتقل وينقل الطاقة.



شكل (١ - ١)

موجات تنتشر من مصدر على هيئة نقطة يحدث عندها اضطراب

وليست موجات الماء هى وحدها الموجات التى نالفها، فكثيرا ما يطرق آذاننا كل صباح صوت المذيع، معلنًا : هنا القاهرة. إذاعة القاهرة تحييكم وتبدأ إرسالها لكم على موجة متوسطة طولها $366.7\ m$ مثلا. كذلك فالتليفزيون ينقل الصوت والصورة، حيث تتحول إلى موجات تنتشر فى الفراغ ويستقبلها الهوائى (الإيريال)، فتتحول هذه الموجات إلى إشارات كهربية فى جهاز الاستقبال، حيث يتم تحويلها إلى صوت وصورة. كذلك فإن التليفون المحمول يتعامل مع موجات تنقل الصوت من المرسل إلى المستقبل، حيث تتحول الإشارات الصوتية إلى إشارات كهربية، ومنها إلى إشارات كهرومغناطيسية تنتشر فى الفراغ والوسط المحيط، ويستقبلها

هوائى التليفون المحمول لدى المستقبل، فتتحول إلى إشارة كهربية، ثم إلى صوت وأحيانا إلى صورة.

موجات الماء نراها، ولكن موجات الراديو والتليفزيون والتليفون المحمول ندركها من آثارها. موجات الماء موجات ميكانيكية *Mechanical Waves*، وكذلك موجات الصوت والموجات المنتشرة فى الأوتار أثناء اهتزازها. لكن موجات الراديو والتليفزيون والتليفون المحمول تُسمى موجات كهرومغناطيسية *Electromagnetic Waves*.

من هذه الموجات الكهرومغناطيسية - أيضًا - موجات الضوء وموجات الأشعة السينية *(X-rays)* التى تستخدم فى التشخيص الطبى الاشعاعى وغيرها. والموجات الميكانيكية تتطلب وسطا ماديا تنتشر فيه، بينما الموجات الكهرومغناطيسية لا تتطلب ضرورة وجود مثل هذا الوسط، إذ يمكنها الانتشار فى الفراغ.

الموجات الميكانيكية *Mechanical Waves*:

تتطلب الموجات الميكانيكية وجود:

(١) مصدر اهتزاز أو متذبذب.

(٢) نوع من الاضطراب ينتقل من المصدر إلى الوسط.

(٣) الوسط الذى يحمل الاهتزاز.

والمصادر المهتزة كثيرة ومتنوعة، منها:

(١) البندول البسيط المهتز، مثل بندول الساعة (شكل ١-٢)

(٢) الشوكة الرنانة المهتزة (شكل ١-٣)

(٣) الوتر المهتز (شكل ١-٤)

(٤) ثقل معلق فى ملف زنبركى أثناء اهتزازه وهو ما يعرف باليويو "*YoYo*" (شكل ١-٥).



شكل (١ - ٢)

بندول الساعة



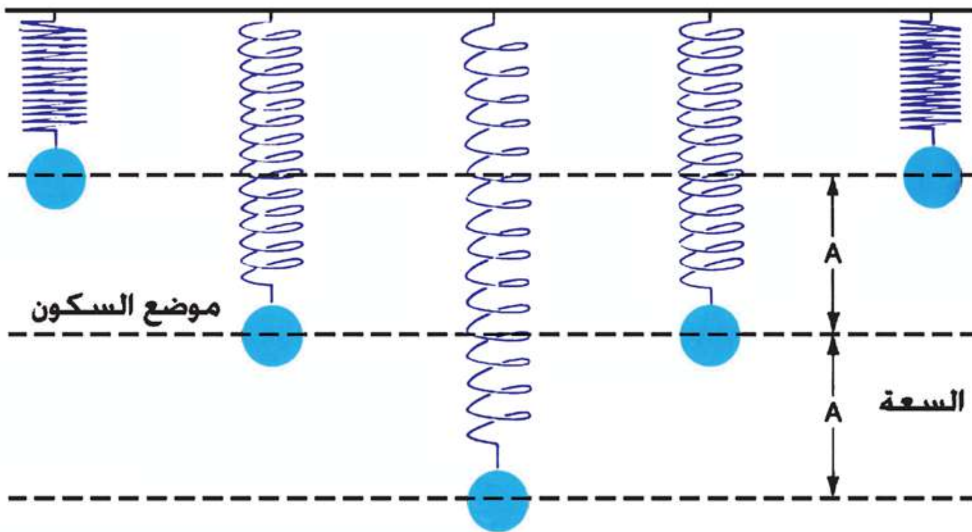
شكل (١ - ٣)

الشوكة الرنانة



شكل (١ - ٤)

الوتر المهتز



شكل (١ - ٥)

ملف زنبركى (اليويو)

ويرتبط بالحركة الاهتزازية بعض الكَمِّيَّات الفيزيائية الضرورية، مثل: الإزاحة *Displacement*، والسعة *Amplitude*، والاهتزازة الكاملة *Complete Oscillation*، والزمن الدورى *Periodic Time*، والتردد *Frequency*. وفيما يلى تعريف كل منها:

الإزاحة *Displacement(meter)*: هى بُعد الجسم المهتز، فى أى لحظة عن موضع سكونه أو اتزانه الأصلى، وهى كمية متجهة.

سَعَة الاهتــزازة *Amplitude (A) (meter)*: هى أقــصى ازاحــة للجــسم المهــتـز، أو هى المسافة بين نقطتين فى مسار حركته تكون سرعته فى إحداهما أقصاها وفى الأخرى منعدمة.

الاهتزازة الكاملة *Complete Oscillation*: هى الحـركة التى يعملها الجـسم المهتـز فى الفترة الزمنية التى تمضى بين مروره بنقطة واحدة فى مسار حـركته مرتين متتاليتين، فى اتجاه واحد، أى يكون له نفس الطور *"Phase"* بالنسبة لنقطة بداية الحركة.

التــردد *Frequency (ν) (Hertz or Hz)*: هو عــدد الاهتــزازات الكاملة التى يحـدثهـا الجسم المهتز فى الثانية الواحدة.

الزمن الدورى *Periodic Time (T) (second)*: هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز فى عمل اهتزازة كاملة، أو هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز ليمر بنقطة واحدة فى مسار حركته مرتين متتاليتين فى اتجاه واحد.

$$\nu = \frac{1}{T} \qquad (1\text{-}1)$$

معلومة إثـرائيـة

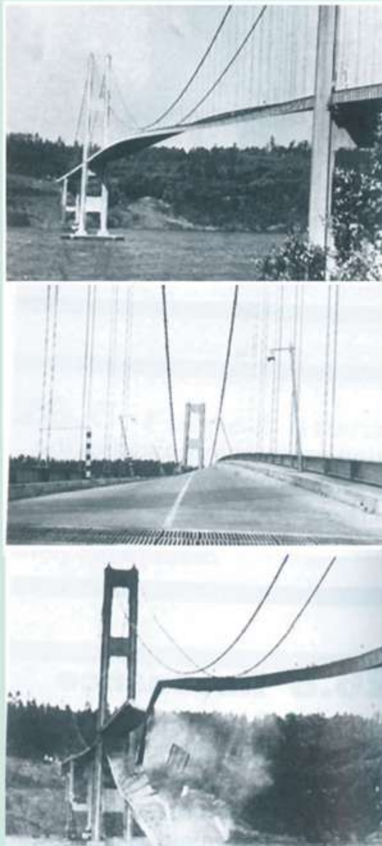
الرنين *Resonance*

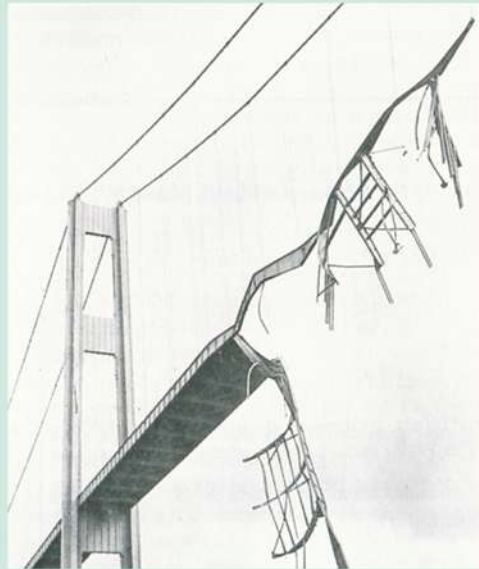


شكل (١ - ٨)

تحطم كوب زجاجى بموجات الصوت قربه

عند تردد معين قد تزداد سعة الاهتزازة الميكانيكية زيادة كبيرة قد تخرج عن حد السيطرة. مثال ذلك تحطم كوب زجاجى بسبب موجات الصوت الصادرة بالقرب منه (شكل ١ - ٨)، وتحطم جسر تاكوما بأمريكا بسبب الرياح فى نوفمبر ١٩٤٠ ((شكل ١ - ٩). ويسمى هذا الوضع الرنين *Resonance*، وهو سبب انهيار كثير من المبانى، حين تكون الحركة داخلها توافقية منتظمة، ومتوافقة مع التردد الطبيعى أو الرنينى *Resonant Frequency* للمبنى. ومثل الرنين الميكانيكى يوجد رنين كهربى، وهو أساس توليف *Tuning* محطة راديو أو تليفزيون،حيث تتضخم الإشارة ا لكهربية الملتقطة من الهوائى (الإيريال) إذا توافق ترددها مع تردد المضخم *Amplifier* فى دائرة الاستقبال.



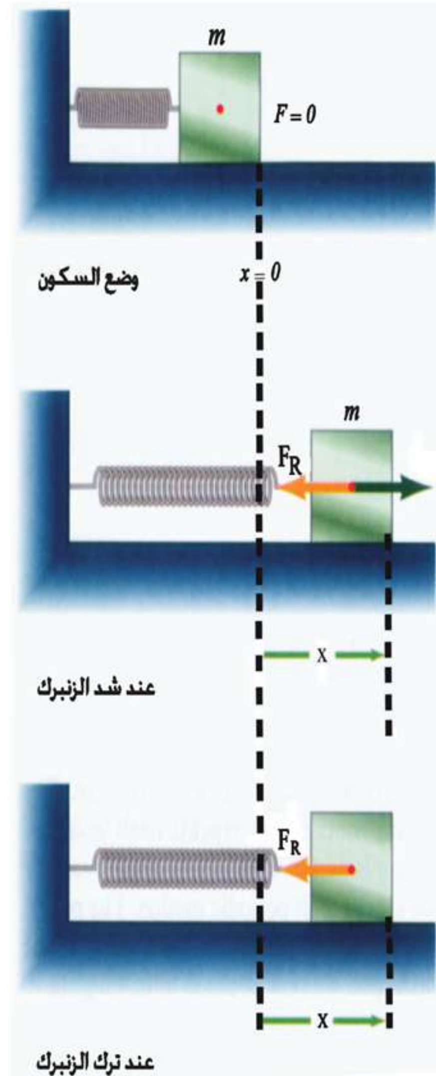


شكل (١ - ٩)

انهيار جسر تاكوما *Tacoma* بأمريكا بسبب الرياح التى سببت اهتزاز الجسر بتردد يساوى تردده الطبيعى محدثاً الرنين

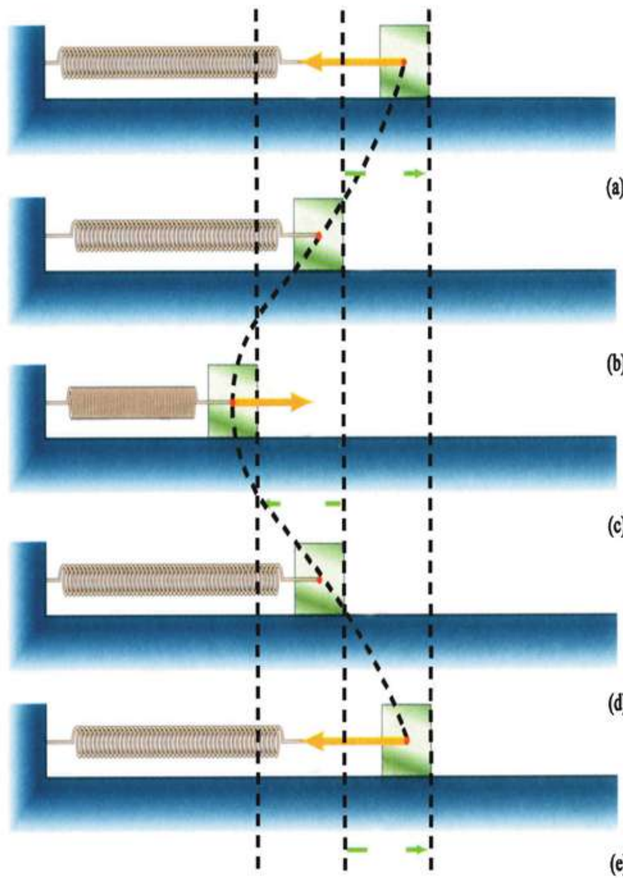
الموجات الطولية:

إذا تخيلنا ثقلاً موضوعا فوق سطح افقى أملس ومثبت فى أحد طرفيه زنبرك طرفه الآخر مثبت في حائط رأسى، ثم جذبنا الثقل فى اتجاه محور الزنبرك وتركناه، فإنه يتحرك حول موضع استقراره حركة ترددية نحو الزنبرك وبعيدا عنه (شكل ١-١٠). وتسمى مثل هذه الحركة الحركة التوافقية البسيطة. فإذا رسمنا المنحنى الذى يتحرك بموجبه مركز ثقل الجسم عن وضع استقراره بالنسبة للزمن نحصل علي منحني بيانى هو منحنى الجيب *Sine Wave* (شكل ١ - ١١)، وهو ما يميز الحركة التوافقية البسيطة.



شكل (١ - ١٠)

ملف زنبركى مهتز

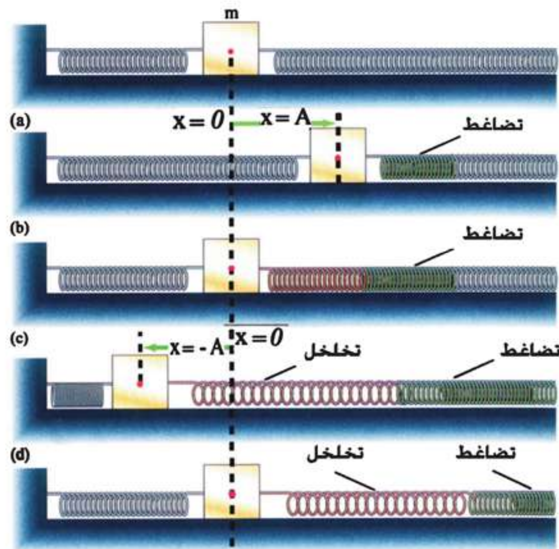


شكل (١ - ١١)

منحنى الجيب ينتج عن الحركة التوافقية البسيطة

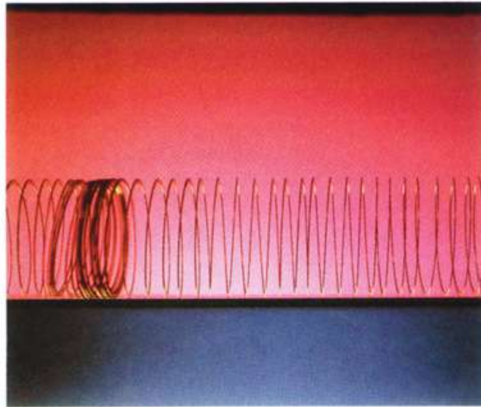
أيضا لنتـصور كـتلة m فـوق سطح أفـقى أملس ، مـثبـتة من أحـد طرفـيهـا فى زنبـرك والطرف الآخر فى زنبرك طويل مثبت عند طرفه البعيد فى حائط راسى (شكل ١-١٢أ). فإذا جذبنا الكتلة m جهة اليمين في اتجاه محور الزنبرك إلى الموضع $x = A$، فإن جزءاً من الزنبرك على يمين A ينضـغط. وهذا التـضـاغط *Compression* يؤثر بقـوة على الزنبـرك جـهة اليـمين، ويعمل ذلك على ضغط حلقاته بصورة متـتابعة. وهـكذا ينتقل التـضاغط تباعاً إلى جهة اليمين، ثم إذا تحـركت الـكتلة m إلى موضع $x = - A$ فإن الزنبـرك على يمين الـكتلة يستطيل وتتبـاعـد حلقاته محدثة نوعا من الخلخلة. وهذا التخلخل *Rarefaction* سرعان ما ينتشر جهة اليمين عبر الزنبرك عندما تعود الكتلة m إلى وضع الاستقرار $x = 0$ مرة أخرى.

وتمثل هذه المجموعة من التضاغطات و التخلخلات موجة ناشئة عن تذبذب جسيمات الوسط (الذى يمثله هنا الزنبرك) فى حركة توافقية بسيطة. ولكن اتجاه انتشار الموجة هو نفسه اتجاه انتقال الاضطراب. وتسمى هذه الموجة بالموجة الطولية *Longitudinal Wave*، حيث تنتقل التضاغطات والتخلخلات علي طول الزنبرك (شكل ١-١٢ب).



شكل (١ - ١٢ أ)

التضاغطات والتخلخلات فى موجة طولية



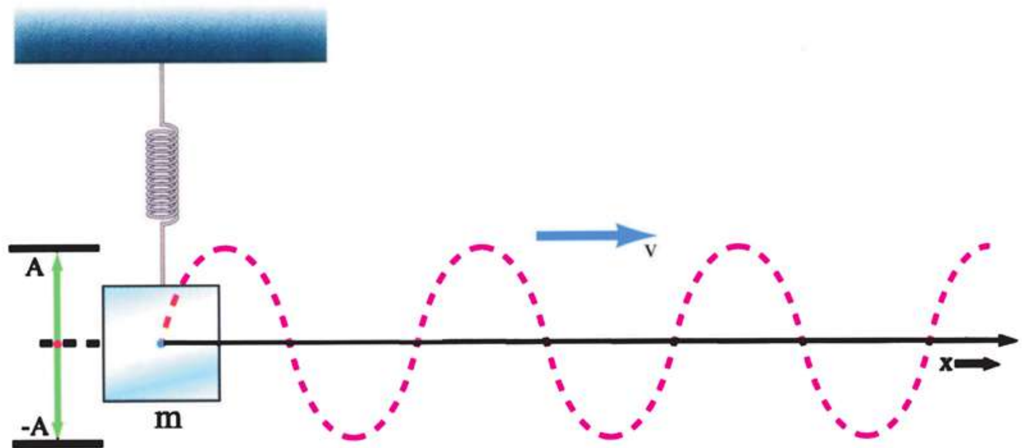
شكل (١ - ١٢ ب)

زنبرك مهتز مكونا موجة طولية

وهكذا فإن المصدر المتذبذب الذى يصنع حركة توافقية بسيطة يمكن أن يولد موجة تنتشر بسرعة v، حيث يقوم كل جزء من الوسط بدوره بحركة توافقية بسيطة حول موضع اتزانه، ومثال على ذلك موجات الصوت الطولية التى تنتشر فى الهواء.

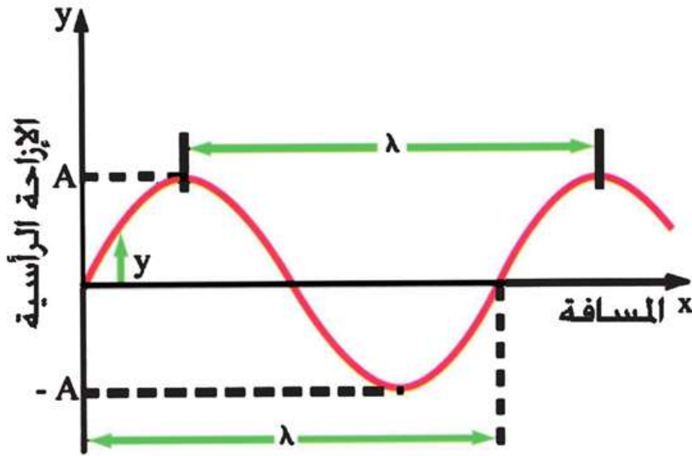
الموجات المستعرضة:

إذا تصورنا أن الكتلة m مثبتة فى زنبرك رأسى ومثبت بها طرف حبل طويل أفقى مشدود، ومثبت طرفه البعيد في حائط رأسي، فعندما تقوم الكتلة m بعمل حركة توافقية بسيطة في الاتجاه الرأسي يقوم تبعا لذلك طرف الحبل المثبت بها بنفس الحركة. وهذا يؤدى إلى تذبذب الأجزاء التى تلى هذا الجزء من الحبل بصورة متتابعة، جزء يلى الآخر. وهكذا تنتقل الحركة على طول الحبل على هيئة موجة فى اتجاه أفقى بسرعة v، بينما تتحرك أجزاء الحبل حركة توافقية بسيطة فى اتجاه رأسى. وهذه الموجة تسمى موجة مستعرضة *Transverse Wave* (شكل ١-١٣).



شكل (١ - ١٣ ا)

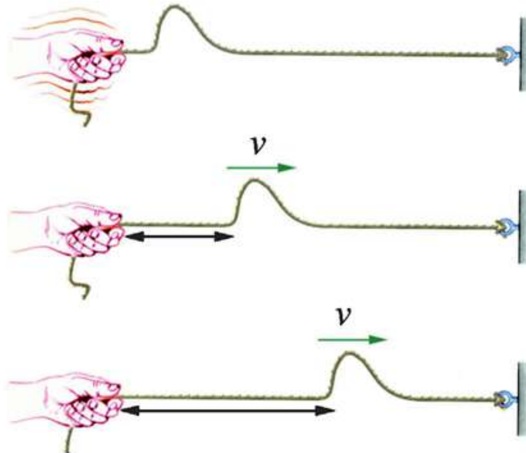
موجة مستعرضة



شكل (١ - ١٣ ب)

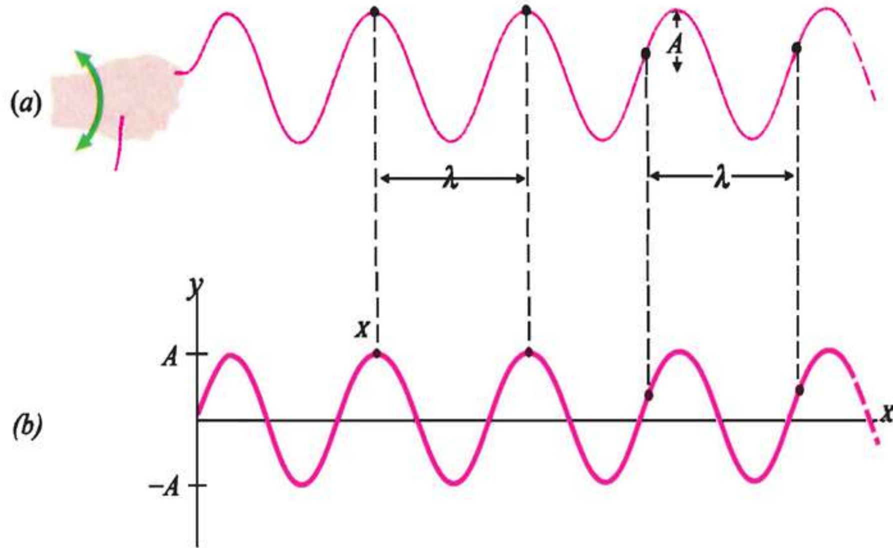
المنحنى الجيبى للازاحة الرأسية

ويمكنك إجـراء مثل هذه التجربة بنفسك باستخدام حبل طويل مشدود، مثبت أحد طرفيه (الطرف البعيد) بحائط رأسى، بينما طرفه الآخر مشدود بيدك. وعندما تحرك يدك رأسيا لأعلى ولأسفل على شكل نبضة *Pulse*، تلاحظ انتشار موجة على شكل نبضة ، تنتشر على طول الحبل ، وتسمى هذه الموجة موجة مرتحلة "*Travelling Wave*" (شكل ١ - ١٤).



شكل (١ - ١٤)

نبضة ناتجة عن حركة توافقية بسيطة



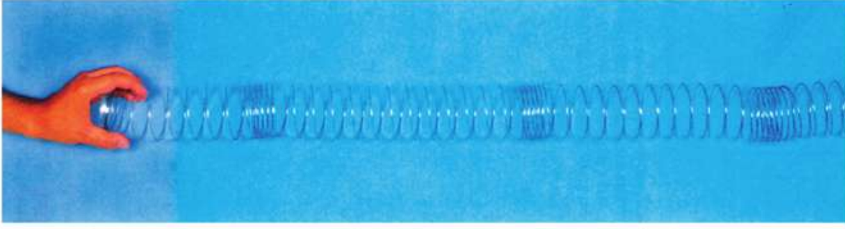
شكل (١ - ١٥)

قطار من الموجات ينتشر فى حبل مشدود نتيجة حركة توافقية بسيطة عند أحد طرفيه

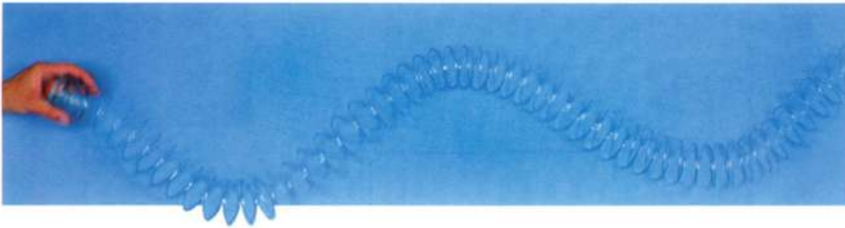
وتكون هذه الموجة متواصلة (قطارا من الموجات المرتحلة) ، طالما ظلت الحركة التوافقية البسيطة مستمرة (شكل ١-١٥).

ويمكن استبدال الحبل المشدود بملف زنبركى ، حيث يمكن توليد موجة طولية (شكل ١ - ١٦) أو مستعرضة (شكل ١ - ١٧).

وكما نرى، فإنه عندما يهتز المصدر تهتز جزيئات الوسط المحيط بنفس الكيفية. إذ ينتقل الاهتزاز - أولاً - من المصدر إلى جزيئات الوسط المجاورة له أو المتصلة به، ومنها إلى جزيئات الوسط التى تليها، وهكذا ينتشر هذا الاهتزاز أو هذا الاضطراب فى الوسط على هيئة حركة موجية، فالموجة كما سبق أن ذكرنا ما هى إلا اضطراب ينتقل وينقل الطاقة.



شكل (١ - ١٦)
ملف زنبركى مهتز على شكل
موجة طولية



شكل (١ - ١٧)
ملف زنبركى مهتز على شكل
موجة مستعرضة

وهكذا يمكن تصنيف الموجات الميكانيكية إلى نوعين هما:

(١) **الموجات المستعرضة** *Transverse Waves*.

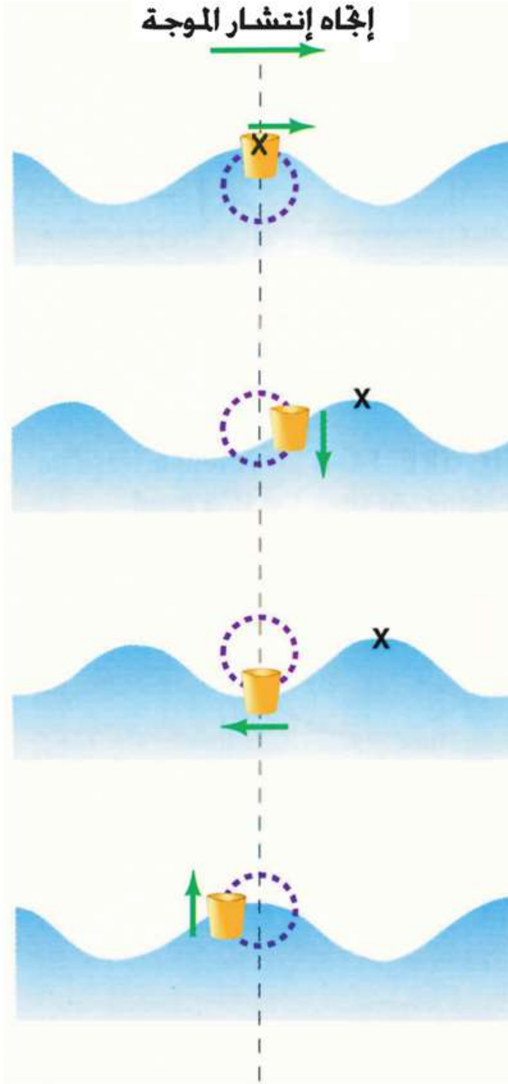
(٢) **الموجات الطولية** *Longitudinal Waves*.

فالموجات المُستعرضة *Transverse Waves*: **هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها فى اتجاه عمودى على اتجاه انتشار الحركة الموجية.**

والموجات الطولية *Longitudinal Waves*: **هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها على نفس خط انتشار الحركة الموجية.**

وبديهى أن الشغل الذى يبذله المصدر المهتـز على الوتر ينتقل على هيئة طاقة وضع تتمـثل فى شـد الوتر ، وطاقة حركة تتمثل فى اهتزاز الوتر.

وبالرجوع إلى الشكل (١-١٨)، تُسَمَّى النقط التى تمثل النهايات العظمى للإزاحة فى الاتجاه الموجب باسم القمم (مفردها قمة *Crest*)، بينما تُسَمَّى النقط التى تمثل النهايات العظمى للإزاحة فى الاتجاه السالب باسم القيعان (مفردها قاع *Trough*). وبملاحظة اى جزء من أجزاء الوتر أثناء اهتزازه ، نجد أنه يحدث قمة وقاعا متتاليين خلال اهتزازة كاملة، أى أن حركة الموجة المستعرضة تشتمل على قمة وقاع متتاليين خلال اهتزازة كاملة.

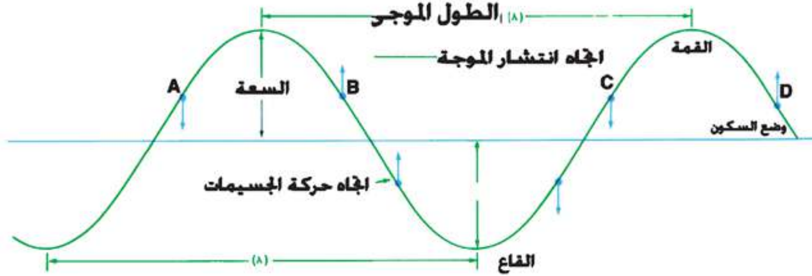


شكل (١ - ١٨)

قطعة فلين تطفو أعلى الموجة (قمة) وأسفل الموجة (قاع)

الطول الموجى meter (λ) Wavelength و التردد Hertz (ν) Frequency:

يُعَبّر عن المسافة بين اى قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين فى الموجة المستعرضة بالطول الموجى لها (شكل ١ - ١٩). كما يعبر عن المسافة بين مركزى اى تضاغطين متتاليين أو مركزى اى تخلخلين متتاليين فى الموجة الطولية بالطول الموجى لها (شكل ١ - ٢٠).



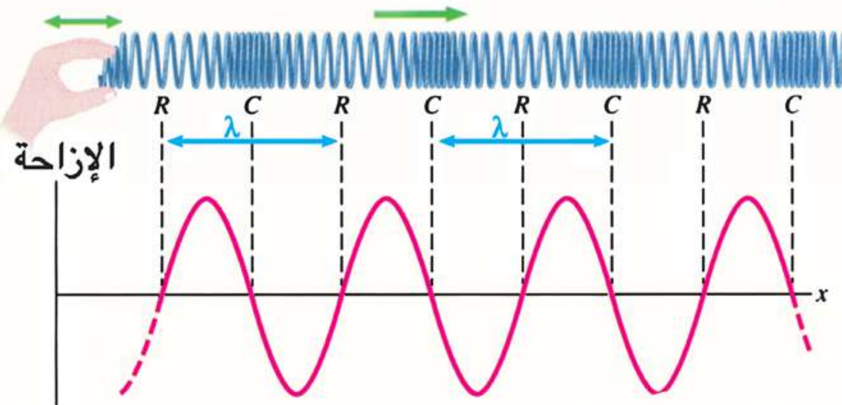
شكل (١ - ١٩)

تعريف الطول الموجى فى موجة مستعرضة

وعلى هذا، يمكن أن يمثل الطول الموجى بإحدى المسافتين (AC) ، (BD)، كما فى الشكل (١-١٩). ويلاحظ أن كل نقطتين متتاليتين $(C ، A)$ ، $(D ، B)$ تتحركان فى وقت واحد، بكيفية واحدة، وفى اتجاه واحد، يكون لهاتين النقطتين المتتاليتين نفس الطور *Phase* (أى لهما نفس الإزاحة ونفس الاتجاه).

∴ الطول الموجى : هو المسافة بين أى نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور (شكل ١ - ٢١) .

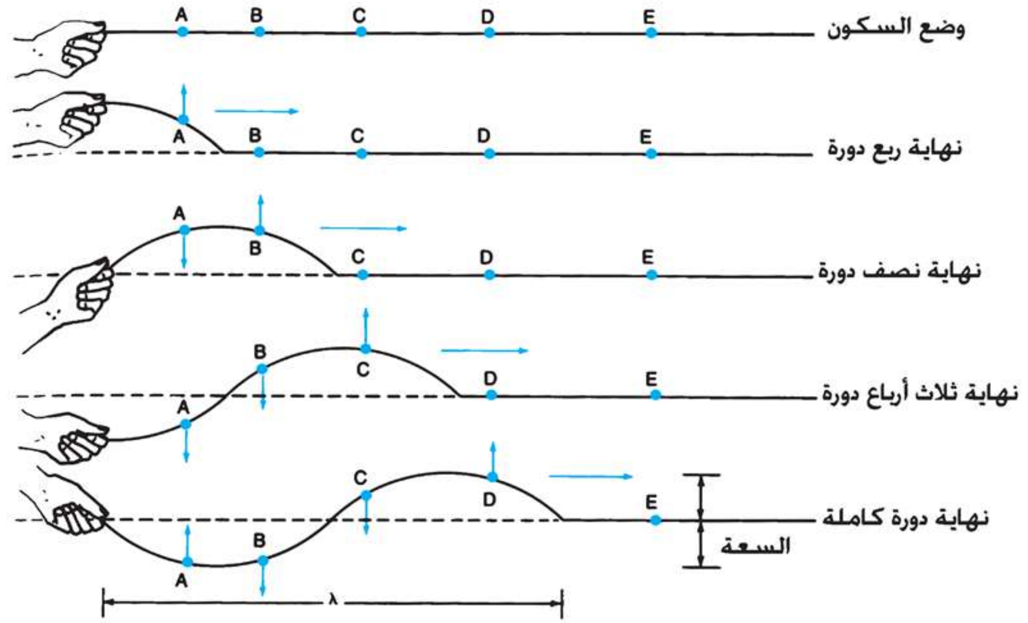
أو هو المسافة الى تتحركها الموجة خلال زمن دورى واحد (شكل ١ - ٢٢).



شكل (١ - ٢٠)

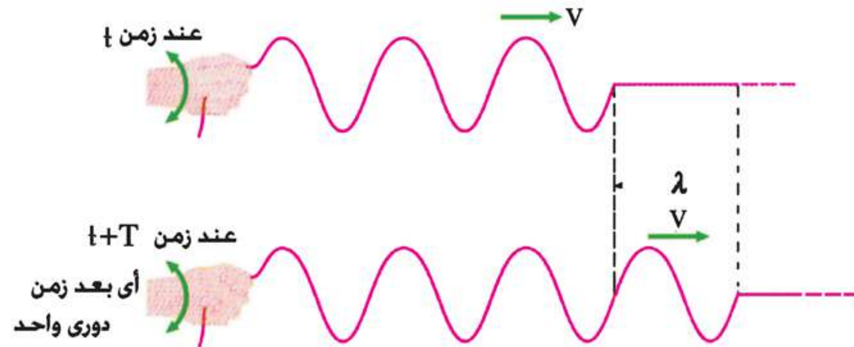
تعريف الطول الموجى فى موجة طولية

ويطلق على عدد الموجات التى تمر بنقطة معينة فى مسار الحركة الموجية فى زمن قدره واحد ثانية اسم التردد .



شكل (١ - ٢١)

المسافة التى تقطعها الموجة خلال زمن دورة واحدة هى الطول الموجى



شكل (١ - ٢٢)

المسافة التى تحركتها الموجة فى زمن دورى واحد T هى الطول الموجى

العلاقة بين التردد والطول الموجى وسرعة انتشار الموجات :

إذا انتقلت موجة بسرعة v من مكان إلى آخر يبعد مسافة تعادل الطول الموجى λ فإن الموجة تستغرق زمنًا قدره الزمن الدورى T

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

ونظرا لأن

$$\nu = \frac{1}{T}$$

أو

$$T = \frac{1}{\nu}$$

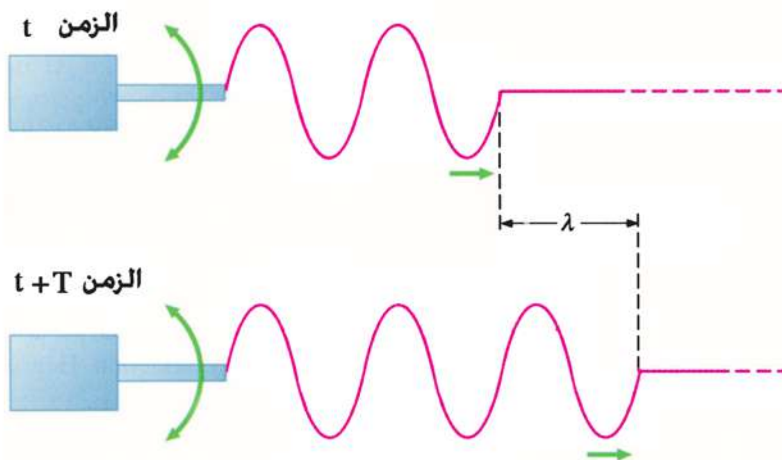
فإن

$$v = \lambda \nu \quad (1\text{-}2)$$

وهذه علاقة عامة لانتشار جميع أنواع الموجات سواء كانت قطاراً من الموجات (شكل ١-٢٣) أو نبضة واحدة (شكل ١-١٤).

أى أنه فى زمن دوري T تنتقل الموجة مسافة تعادل الطول الموجى.

والتردد هو عدد الاهتزازات فى الثانية الواحدة، أو هو عدد الأطوال الموجية التى تقطعها الموجة المنتشرة فى اتجاه معين فى ثانية واحدة.



شكل (١ - ٢٣)

قطار من الموجات ينتشر بسرعة v

أمثلة :

(١) إذا كـان طول الموجـة الصـوتيـة التى يصـدرهـا قطار $0.6\ m$ وتردد النغـمـة الصـادرة $550Hz$ فما سرعة انتشار الموجات الصوتية فى الهواء؟

الحل :

$$v = \lambda\, \nu$$

$$v = 0.6 \times 550 = 330 \quad m/s$$

(٢) إذا كـان عـدد موجـات الماء التى تمر بنقطة مـعينة فى زمـن قدره واحـد ثانيـة هو 12 موجة وكان طول الموجة الواحدة $0.1\ m$ إحسب سرعة إنتشار الموجات.

الحل :

$$v = \lambda\, \nu$$

$$v = 12 \times 0.1 = 1.2 \quad m/s$$

(٣) تنتشر موجات الضوء فى الفضاء بسرعة تساوى 300 الف كيلو متر فى الثانية ($3 \times 10^{8}\ m/s$)

فإذا كان طول موجة الضوء $5000\ A^{0}$. فما هو تردد هذا الضوء ؟

$$1\ Angstrom(A^{0}) = 10^{-10}\, m$$

الحل :

$$c = v = 3 \times 10^{8} \quad m/s$$

$$\lambda = 5 \times 10^{3} \times 10^{-10} = 5 \times 10^{-7}\ m$$

$$c = \lambda\, \nu$$

$$3 \times 10^{8} = 5 \times 10^{-7} \times \nu$$

$$\nu = \frac{3 \times 10^{8}}{5 \times 10^{-7}} = 6 \times 10^{14} \qquad Hz$$

تلخيـــص

- الموجة: هى اضطراب ينتقل و ينقل الطاقة.
- الإزاحة: هى بُعْد الجسم فى أى لحظة عن موضع سكونه (أو اتزانه) الأصلى.
- سعة الاهتزازة A: هى أقصى إزاحة للجسم المهتز عن موضع سكونه أو هى المسافة بين نقطتين فى مسار حركة الجسم المهتز تكون سرعته فى إحداهما أقصاها وفى الأخرى منعدمة.
- الاهتزازة الكاملة هى الحركة التى يعملها الجسم المهتز (مثل البندول البسيط) فى الفترة الزمنية التى تمضى بين مروره بنقطة معينة فى مسار حركته مرتين متتاليتين فى اتجاه واحد.
- التردد ν : هو عدد الاهتزازات الكاملة التى يحدثها الجسم المهتز فى الثانية الواحدة.

$$\text{التردد} = \frac{1}{\text{الزمن الدورى}}$$

أو هو عدد الموجات التى تمر بنقطة معينة فى مسار الحركة الموجية فى زمن قدرة واحد ثانية.

- الزمن الدورى T: هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز فى عمل اهتزازة كاملة، أو هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز (مثل البندول البسيط) ليمر بنقطة معينة فى مسار حركته مرتين متتاليتين فى اتجاه واحد.
- الموجات الميكانيكية نوعان :

(١) موجات مستعرضة. (٢) موجات طولية.

- الموجات المستعرضة: هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها، فى اتجاه عمودى على اتجاه انتشار الحركة الموجية.
- الموجات الطولية: هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها، على نفس خط انتشار الحركة الموجية.
- الموجات المستعرضة تتكون من قمم وقيعان متتالية.
- الموجات الطولية تتكون من تضاغطات وتخلخلات متتالية.
- الطول الموجى: هو المسافة بين أى نقطتين متتاليتين فى اتجاه انتشار الموجة لهما نفس الطور (نفس الإزاحة، ونفس الاتجاه).
- العلاقة بين التردد والطول الموجى وسرعة إنتشار الموجات هى : $v = \lambda \times \nu$

أسئلة وتمارين

أولا: عرف كلاً من

١- عرف كلاً من :

١- الموجة ٢- الموجة المستعرضة

٣- الموجة الطولية ٤- طول الموجة.

ثانيا: أكمل كلا من العبارات التالية

(أ) الإزاحة هى ....

(ب) سعة الاهتزازة هى ....

(جـ) الاهتزازة الكاملة هى ....

(د) الزمن الدورى هو ....

(هـ) التردد هو ....

ثالثا: أسئلة المقال

استنتج العلاقة بين التردد والطول الموجى وسرعة إنتشار الموجات؟

رابعا: ضع علامة (✓) أمام الأختيار الصحيح فيما يلى

١- العلاقة بين سرعة انتشار الموجات v فى وسط مادى وترددها ν وطولها الموجى λ هى:

(أ) $v = \lambda \nu$ (ب) $v = \frac{\nu}{\lambda}$

(ج) $v = \frac{\lambda}{\nu}$ (د) لا توجد إجابة صحيحة.

٢- الموجات المستعرضة هى موجات تتكون من :

(أ) تضاغطات وتخلخلات.

(ب) قمم وقيعان.

(ج) قمم وقيعان وتتحرك فيها جزيئات الوسط لمسافات قصيرة حول مواضع سكونها فى

اتجاه عمودى على إتجاه إنتشارها.

(د) تضاغطات وتخلخلات وتتحرك فيها جزيئات الوسط لمسافات قصيرة حول مواضع سكونها على نفس خط إنتشار الحركة الموجية.

٣- إذ كان طول الموجة الصوتية التى يصدرها مصدر صوتى هو $0.5\ m$ وتردد النغمة $666\ Hz$ تكون سرعة إنتشار الصوت فى الهواء .

(أ) $338\ m/s$ (ب) $333\ m/s$ (ج) $330\ m/s$ (د) $346\ m/s$

٥- إذا كانت سرعة الصوت فى الهواء هى $340\ m/s$ تنتشر فيه نغمة ترددها $225\ Hz$ يكون طولها الموجى مقدراً بالمتر هو :

(أ) $\frac{4}{3}$ (ب) $\frac{3}{4}$ (ج) 20 (د) $\frac{3}{2}$

٦- ضوء طوله الموجى $6000\ A^\circ$ $(1\ Angstrom\ (A^\circ) = 10^{-10} m)$ ينتشر فى الفضاء بسرعة $300 \times 10^3 km/s$ يكون تردده هو :

(أ) $4 \times 10^{10}\ Hz$ (ب) $4 \times 10^{14}\ Hz$

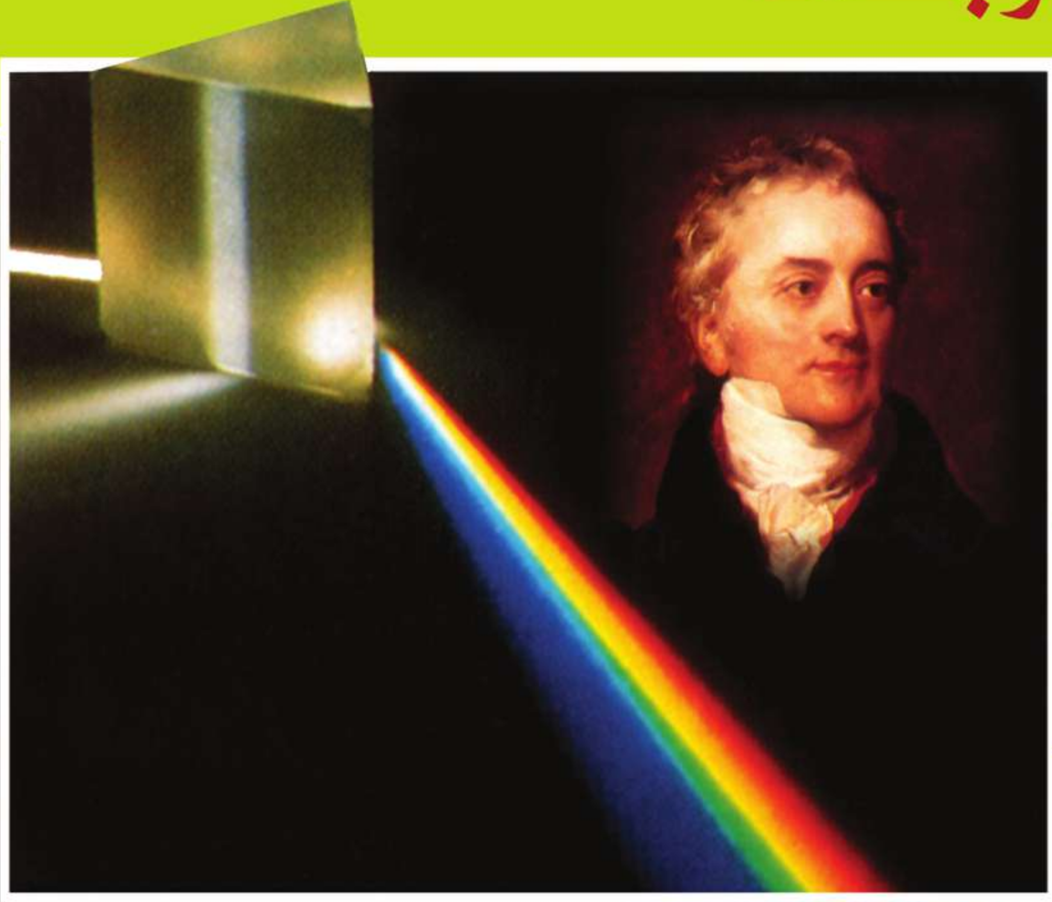
(ج) $5 \times 10^{14}\ Hz$ (د) $5 \times 10^{12}\ Hz$

٧- موجتان ترددهما $512\ Hz$ ، $256\ Hz$ تنتشران فى وسط معين، تكون النسبة بين طوليهما الموجيين هى :

(أ) $\frac{2}{1}$ (ب) $\frac{1}{2}$ (ج) $\frac{3}{1}$ (د) $\frac{1}{3}$

الموجات

الوحدة الأولى



الفصل الثانى : الضوء

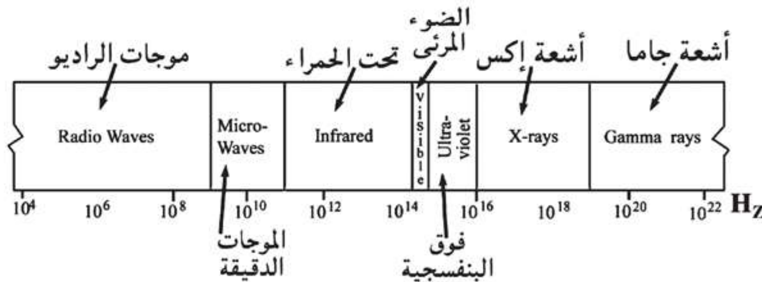
الفصل الثانى

الضـــــــوء

مقدمة :

الضوء أحد صور الطاقة التى لايستغنى عنها الإنسان. فمن المعروف أن الشمس هى أحد المصادر الطبيعية للطاقة . ويمكن القول أن معظم طاقة الشمس تنقسم إلى ضوء وحرارة. ولولا ضوء الشمس لما استطاعت النباتات أن تقوم بعملية البناء الضوئى ، وماكان الإنسان يجد غذاءه الذى يحصل عليه من النبات والحيوان ، الذى يتغذى أيضا على النبات.

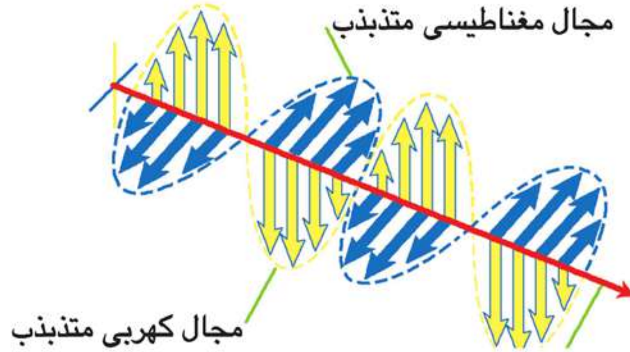
وقد رأينا فى الفصل السابق أن للصوت طبيعة موجية. فهو ينتشر من مصدره محدثا فى الوسط المحيط نوعا من الموجات تسمى الموجات الميكانيكية. كذلك فإن الضوء له طبيعة موجية . فهو يخضع لظواهر الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود. إلا أن الضوء يختلف عن الصوت من حيث أنه لايحتاج إلى وسط مادى لانتشاره. فالضوء جزء من مدى واسع من الموجات تسمى الموجات الكهرومغناطيسية تنتشر جميعها بسرعة ثابتة فى الفراغ قدرها $3x10^8$ m/s ، وتتباين فيما بينها فى ترددها، معطية مايسمى الطيف الكهرومغناطيسى Electromagnetic Spectrum (شكل ٣ - ١). ويشمل على سبيل المثال موجات الراديو Radio Waves، وموجات الأشعة تحت الحمراء Infrared ، وموجات الضوء المنظور Visible Light ، وموجات الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet ، وموجات الأشعة السينية X-rays ، وموجات أشعة جاما Gamma (γ)-rays، وجميعها لها خواص مشتركة. فهى تنتشر أو تنتقل فى الفضاء بنفس السرعة، وجميعها موجات مستعرضة. كما أن طبيعتها واحدة من حيث إنها موجات كهرومغناطيسية ، وإن كانت تختلف في تردداتها وأطوالها الموجية.



شكل (٣ - ١)

الطيف الكهرومغناطيسى

والموجات الكهرومغناطيسية تتكون من مجالات كهربية ومجالات مغناطيسية مهتزة بتردد V و متفقة فى الطور ومتعامدة بعضها على البعض الآخر من ناحية ، ومتعامدة على إتجاه إنتشارها من ناحية أخرى (شكل ٣ - ٢)، فهى بذلك موجات مستعرضة.



شكل (٣ - ٢)

الموجات الكهرومغناطيسية تتكون من مجالات كهربية ومغناطيسية متعامدة على بعضها وعلى اتجاه انتشار الموجة.

انعكاس الضوء وانكساره :

ينتشر الضوء فى جميع الاتجاهات فى خطوط مستقيمة مالم يصادفه وسط عائق. فإذا صادفه عائق فإنه يعانى انعكاسا أو انكسارا أو امتصاصا بنسب مختلفة حسب طبيعة الوسط العائق.

عند سقوط شعاع ضوئى على سطح فاصل بين وسطين مختلفين فى الكثافة الضوئية ، فإن جزءاً من الضوء ينعكس، والجزء الآخر ينكسر مع اهمال الجزء الممتص.

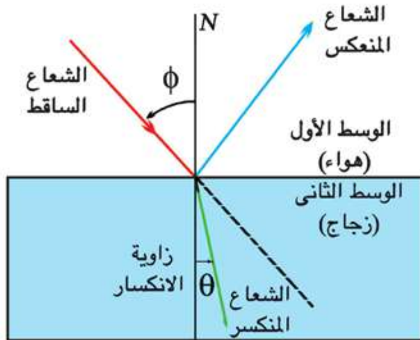
ونلاحظ من الشكل (٣ - ٣) مايلى:

يقع كل من الشعاع الساقط والمنعكس والمنكسر و العمود المقام على السطح الفاصل من نقطة السقوط فى مستوى واحد عمودى على السطح الفاصل.

- فى حالة الإنعكاس:

زاوية السقوط = زاوية الإنعكاس.

- فى حالة الإنكسار:



شكل (٣ - ٣)

انعكاس وانكسار الضوء

النسبة بين جيب زاوية السقوط فى الوسط الأول إلى جيب زاوية الانكسار فى الوسط الثانى كالنسبة بين سرعة الضوء فى الوسط الأول إلى سرعة الضوء فى الوسط الثانى وهى نسبة ثابتة لهذين الوسطين ويطلق عليها اسم

معامـل الانكسار النسبى من الوسط الأول إلى الوسط الثانى ويرمز له بالرمز $_1n_2$ ،أى أن

$$\frac{\sin \phi}{\sin \theta} = \frac{v_1}{v_2} = {}_1n_2 \qquad (3-1)$$

نتائج هامة:

(١) تعـد سرعـة الضـوء فـى الفضـاء أو الفـراغ مـن الثوابـت الكـونية وتسـاوى 3×10^8 m/s وسرعة الضوء فى الفضاء أو الفراغ اكبر من سرعته فى أى وسط مادى. وإذا رمزنا لسرعة الضوء فى الفراغ بالرمز c ولسرعة الضوء فى الوسط المادى بالرمز v فإن النسبة $\frac{c}{v}$ تسمى معامل الانكسار المطلق لهذا الوسط ويرمز له بالرمز n وقيمته اكبر من الواحد الصحيح .

$$n = \frac{c}{v} \qquad (3-2)$$

ومعاملات انكسار بعض المواد مدرجة فى الجدول الآتى :

الوسط المادى	معامل الانكسار له n
الهـواء	1.00293
المـاء	1.333000
البنزين	1.501000
رابع كلوريد الكربون	1.461000
الكحول الإيثيلى	1.361000
الزجاج التاجى	1.52000
الزجاج الصخرى	1.660000
الكوارتز	1.4850000
الماس	2.419000

(٢) من العلاقة (3-2) يتضح أن :

$$v = \frac{c}{n}$$

أى أن

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

ومنها يكون

$$_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} \qquad (3-3)$$

بالتعويض من (3-3) فى (3-1) $\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\phi}{\sin\theta}$

أى أن

$$n_1 \sin \phi = n_2 \sin \theta \qquad (3-4)$$

وهذا ما يعرف بقانون سنل Snell's Law.

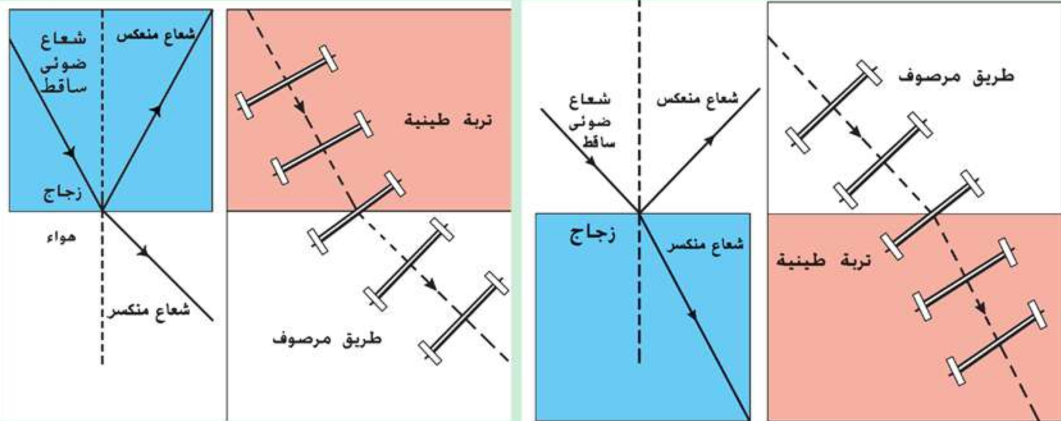
أى أن معامل الإنكسار المطلق لوسط السقوط فى جيب زاوية السقوط يساوى معامل الإنكسار المطلق لوسط الأنكسار فى جيب زاوية الإنكسار.

٣ - يمكن استخدام الانكسار فى تحليل حزمة ضوئية إلى مركباتها ذات الأطوال الموجية المختلفة حيث يختلف معامل الانكسار المطلق تبعا للطول الموجى، ولذلك يتشتت الضوء الأبيض إلى مكوناته، ويمكن ملاحظة ذلك فى فقاعات الصابون.

معلومة إثرائية

تفسير الانكسار

إذا سقط الضوء من وسط أقل كثافة إلى وسط أعلى كثافة اقترب الشعاع المنكسر من العمود ويماثل ذلك عربة تدخل إحدى عجلاتها في منطقة طينية تبطئها، بينما العجلة الأخري أسرع، فيحدث انحناء في المسار (شكل ٣-٤). والعكس حين يحدث انكسار من المنطقة أعلي في الكثافة إلي منطقة أقل فى الكثافة فيكون الشعاع المنكسر بعيدا عن العمود (شكل ٣-٥).



شكل (٣ - ٥) إنكسار من وسط اكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة

شكل (٣ - ٤) إنكسار من وسط أقل كثافة إلى وسط اكبر كثافة

أمثلة :

١- اذا سقط شعاع ضوئى على سطح لوح زجاجى معامل انكساره 1.5 بزاوية سقوط 30° فاحسب زاوية الانكسار.

الحــل

$$\because \quad n = \frac{\sin \phi}{\sin \theta}$$

$$\therefore \quad 1.5 = \frac{\sin 30}{\sin \theta}$$

$$\sin \theta = \frac{0.5}{1.5} = 0.333$$

ومنها $\therefore \quad \theta = 19^\circ\, 28'$

٢- إذا كان معامل الانكسار المطلق للماء $\frac{4}{3}$ ومعامل الانكسار المطلق للزجاج $\frac{3}{2}$ فأوجد :

(أ) معامل الإنكسار النسبى من الماء إلى الزجاج.

(ب) معامل الإنكسار النسبى من الزجاج إلى الماء.

الحل : (أ) معامل الانكسار النسبى من الماء إلى الزجاج.

$${}_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}} = \frac{9}{8}$$

(ب) معامل الانكسار النسبى بين الزجاج والماء.

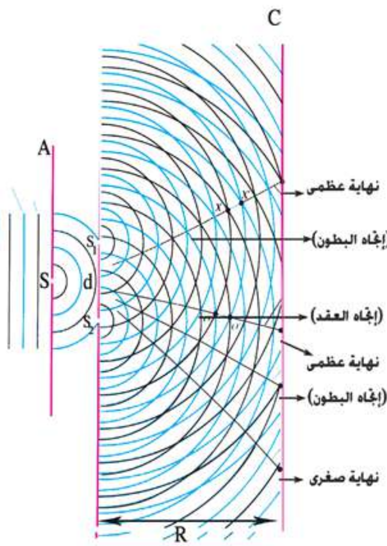
$${}_2n_1 = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{3}{2}} = \frac{8}{9}$$

ومن هذا المثال نتبين أن : ${}_1n_2 = \frac{1}{{}_2n_1}$ وهى نتيجة هامة.

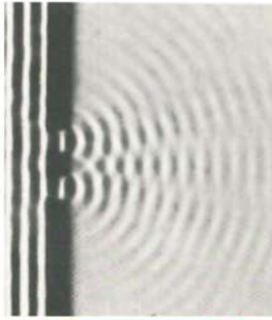
تداخل الضوء : Light Interference

أجرى توماس ينج Young تجربة لدراسة ظاهرة التداخل فى الضوء فيما يعرف باسم تجربة الشق المزدوج Double Slit Experiment، وهى موضحة بالشكل (٣-٦). فى هذا الشكل مصدر ضوئى أحادى اللون Monochromatic Source اى أن للطول الموجى λ قيمة واحدة

ثابتة، يقع على بعد مناسب من حاجز به فتحة مستطيلة ضيقة S تمر خلالها موجات اسطوانية نحو حاجز به فتحتان مستطيلتان ضيقتان S_1 ، S_2 ، تعملان كشق مزدوج. تقع S_1 ، S_2 على نفس صدر الموجة الاسطوانية. لذلك يكون للموجات التى تصلها نفس الطور. وتسلك الفتحتان المستطيلتان سلوك المصادر المترابطة، وهى تلك المصادر التى تكون موجاتها متساوية التردد والسعة ولها نفس الطور. وتنتشر الحركتان الموجيتان الصادرتان من الفتحتين S_1 ، S_2 على هيئة موجات اسطوانية خلف الحاجز ، متخذة طريقها نحو الحائل المعد لاستقبالها C.



شكل (٣ - ٦ب)
رسم تخطيطى لتجربة يونج


شكل (٣ - ٦أ)
ظاهرة التداخل فى تجربة يونج

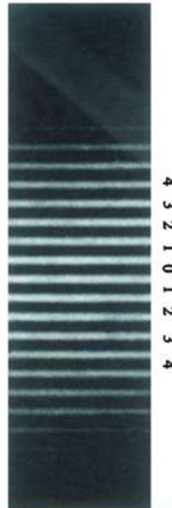
وعلى الحائل C تتراكب موجات الحركتين الموجيتين القادمتين اليه من S_1 ، S_2. ونتيجة لهذا التراكب تظهر مجموعة التداخل التى تبدو كمجموعة من المناطق المستقيمة المتوازية، وهى عبارة عن مناطق مضيئة تتخللها أخرى مظلمة تعرف باسم هدب التداخل Interference Fringes، كما فى الشكل (٣ - ٧).

المسافة بين أى هدبتين متتاليتين Δy من نفس النوع تتعين من العلاقة.

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d} \qquad (3-5)$$

حيث λ طول موجة الضوء الأحادى اللون المستخدم، R المسافة بين الشق المزدوج والحائل المعد لإستقبال الهدب و d المسافة بين S_1 ، S_2

لذلك تستخدم هذه التجربة لتعيين الطول الموجى لأى ضوء أحادى اللون.



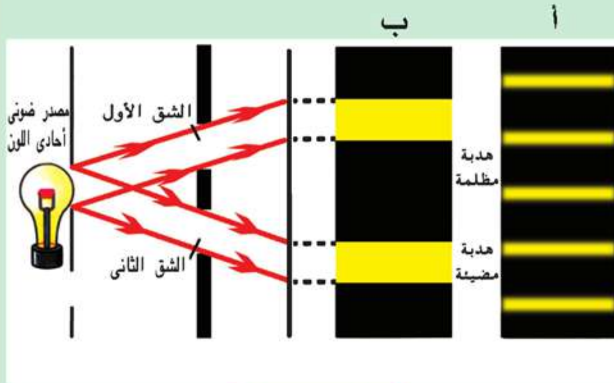
شكل (٣ - ٧)
هدب التداخل

معلومة إثرائية

تفسير التداخل فى تجربة توماس ينج

لو لم يكن الضـوء مـوجـات تتداخل وانتشر الضوء من الفتحتين لحصلنا على الهدب كما فى الشكل (٣ - ٨ ب).

يمكن تفسير تكوين هدب التداخل البناء والتداخل الهدمى التى تظهر فى تجربة الشق المزدوج لينج كما يلى.

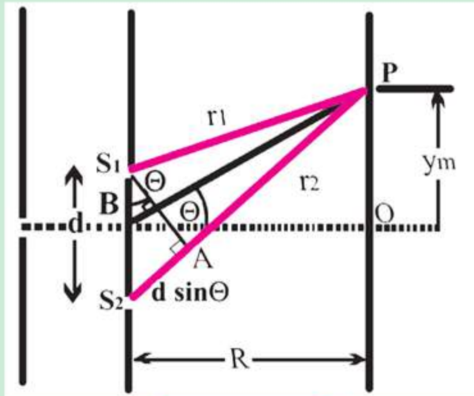


شكل (٣ - ٨)

أ- الهدب الناتجة عن التداخل.
ب- الهدب لو لم يكن هناك تداخل.

إذا كان بعد الشاشة عن الشق المزدوج R كبيرا نسبيا بالمقارنة بالمسافة d بين فتحتى الشق المزدوج فإنه يمكن اعتبار الشعاعين (r_2, r_1) الصادرين من فتحتى الشق المزدوج فى طريقيهما إلى الحائل فى حالة توازى .

وإذا كانت θ هى زاوية ميل الشعاعين r_2 , r_1 فإن فرق المسار بين هذين الشعاعين هو Δr، كما هو مبين (شكل ٣ - ٩).



شكل (٣ - ٩)

فرق المسار يحدد هدب التداخل فى تجربة ينج

وهذا الفرق يمكن حسابه من العلاقة

$$\Delta r = d \sin \theta$$

حيث d المسافة بين فتحتى الشق المزدوج.

وإذا كان الفرق فى مسار الشعاعين مساويا عدد m من الأطوال الموجية حيث m عدد صحيح فإن

$$\Delta r = d \sin \theta = m\lambda$$

وعلى ذلك فإن نقطة تلاقى هذه الأشعة على الشاشة تكون هدبة مضيئةعندما يكون

$$\sin\theta = \theta = \frac{m\lambda}{d} = \frac{y}{R}$$

$$y = m\,\frac{\lambda R}{d}$$

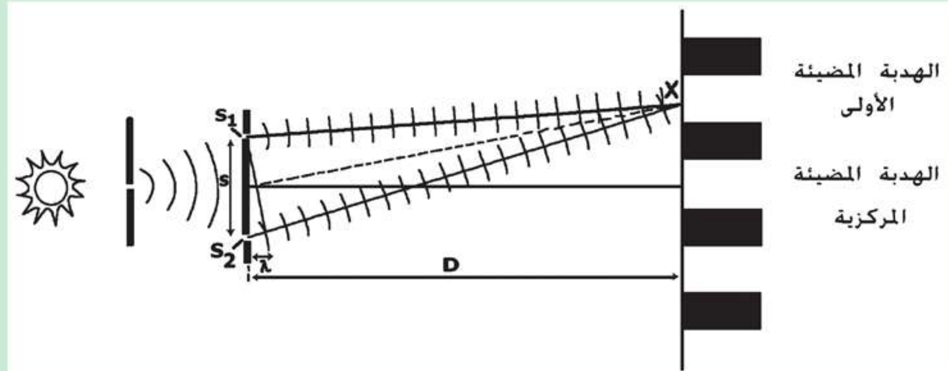
أما إذا كان فرق المسار بين الشعاعين (r_2, r_1) مساوياً $(m+1/2)$ من الأطوال الموجية

أى $\Delta r = d\sin\theta = (m+1/2)\lambda$ فإن نقطة تلاقى هذه الأشعة على الشاشة تكون هدبة مظلمةعندما يكون

$$\sin\theta = \theta = \frac{(m+1/2)\lambda}{d} = \frac{y}{R}$$

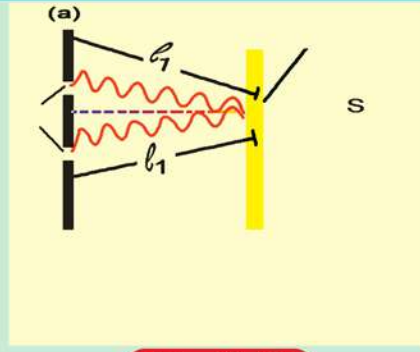
$$y = (m+1/2)\,\frac{\lambda R}{d}$$

وهكذا يتتابع ظهور الهدب المضيئة والهدب المظلمة فى نموذج التداخل المبين على الشاشة حسب فرق المسار بين الشعاعين المنطلقين من الفتحتين إلى نقطة على الشاشة (شكل ٣ -١٠). وتعرف قيمة المقدار m سواء بالنسبة للهدب المضيئة او الهدب المظلمة باسم رتبة الهدبة (شكل ٣ - ١١).

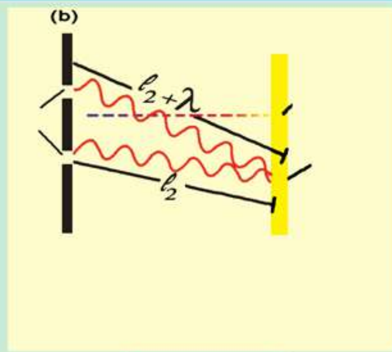


شكل (٣ - ١٠)

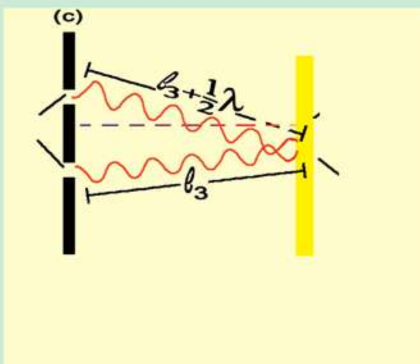
تتابع الهدب كلما كان فرق المسار بين الشعاعين طولاً موجياً


شكل (٣ - ١١أ)

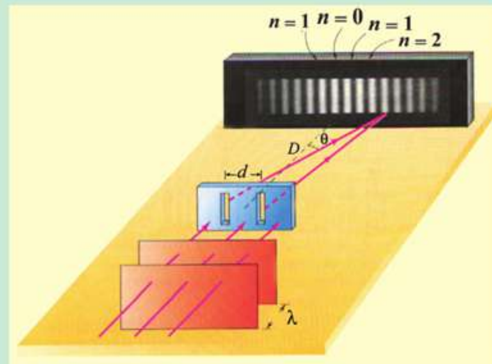
هدبة مضيئة فى المنتصف


شكل (٣ - ١١ب)

عند $\Delta r = m\lambda$ هدبة مضيئة


شكل (٣ -١١جـ)

عند $\Delta r = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$ هدبة مظلمة


شكل (٣ - ١١د)

رتبة الهدبة

مثال : فى تجربة الشق المزدوج كانت المسافة بين الفتحتين المستطيلتين الضيقتين 0.00015 m وكانت المسافة بين الشق والحائل المعد لاستقبال الهدب 0.75 m وكانت المسافة بين هدبتين مضيئتين هى 0.003 m احسب الطول الموجى للضوء الأحادى اللون المستخدم.

الحل :

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d}$$

$$0.003 = \frac{0.75 \times \lambda}{0.00015}$$

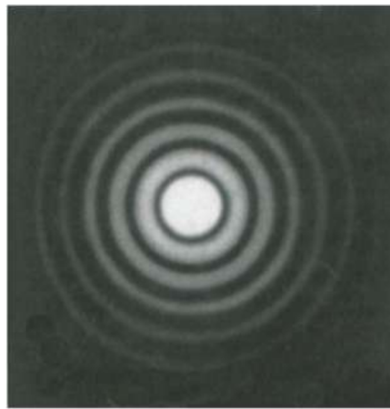
$$\therefore \lambda = \frac{0.00015 \text{ x } 0.003}{0.75} = 0.6 \text{ x } 10^{-6} \text{ m}$$

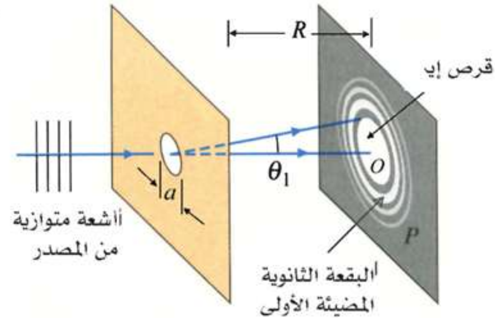
$$\lambda = 10^{10} \text{ x } 0.6 \text{ x } 10^{-6} = 6000 \text{ A}^{\circ}$$

حيود الضوء : Light Diffraction

عندما يسقط ضوء أحادى اللون على فتحة دائرية فى حاجز ، فإننا نتوقع تبعاً لمعلوماتنا عن انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة أن تتكون على الحائل الموضح فى الشكل بقعة دائرية مضيئة محددة.

لكن دراسة البقعة المضيئة عن قرب ـ وتسمى قرص إيرى Airy Disk– وبعبارة أخرى دراسة توزيع الإضاءة على الحائل - تظهر وجود هدب مضيئة وأخرى مظلمة كما فى الشكل (٣ - ١٢).





شكل (٣ - ١٢)

الحيود على فتحة دائرية

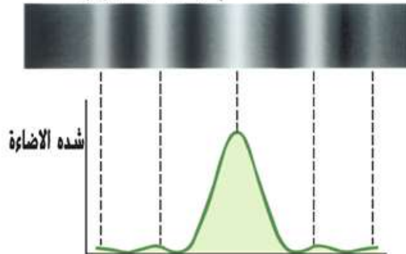
ويوضح الشكل (٣-١٣) الحيود على فتحة مستطيلة ، بينما يوضح الشكل (٣-١٤) نماذج مختلفة للحيود على حدود فاصلة للمادة. وبصفة عامة يظهر الحيود بوضوح إذا كان الطول الموجى مقارباً لأبعاد فتحة العائق والعكس صحيح (شكل ٣ -١٥).

وجدير بالذكر أنه لا يوجد فرق جوهرى بين نموذجى التداخل والحيود، فكل منهما ينشأ من تراكب موجات (شكل ٣ - ١٦).



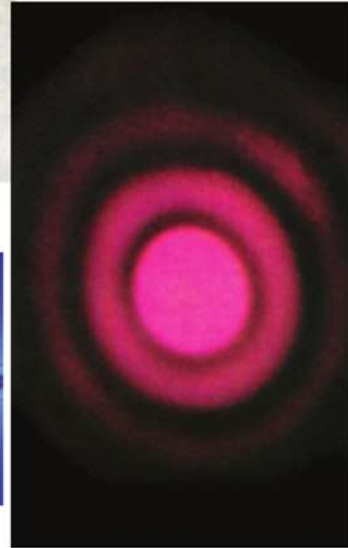
شكل (٣ - ١٣أ)

الحيود على فتحة مستطيلة

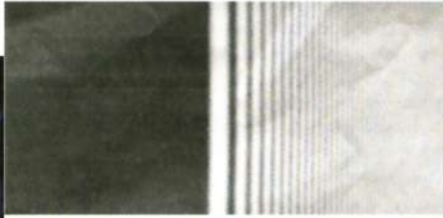


شكل (٣ - ١٣ب)

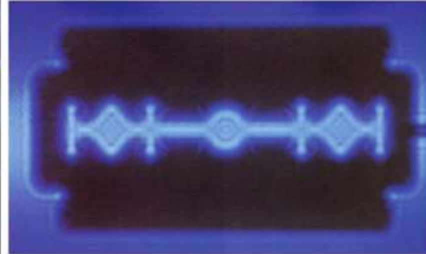
توزيع شدة الاضاءة على الحائل مع تتابع الهدب الناشئة من الحيود على فتحة مستطيلة



ب. من فتحة دائرية



أ.على حد فاصل مستو



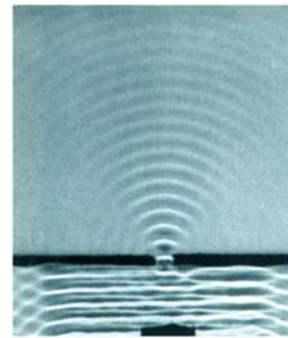
جـ - شفرة موس



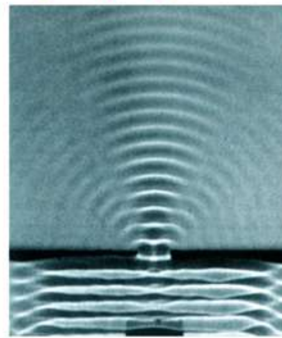
د.على كرة مصمتة

شكل (٣ - ١٤)

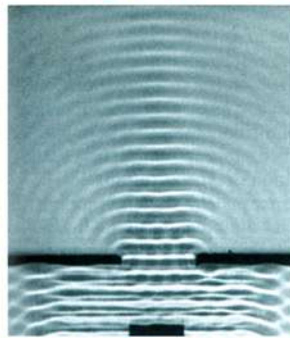
نماذج الحيود على أشكال مختلفة من العوائق



أ.أبعاد العائق صغيرة ومقاربة للطول الموجى



ب.أبعاد العائق متوسطة

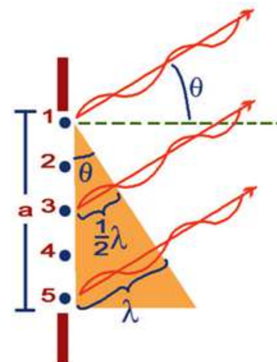


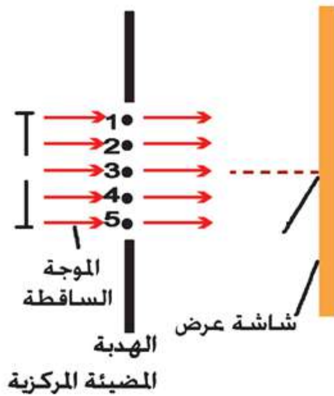
حـ.أبعاد العائق كبيرة والطول الموجى صغير بالنسبة لها



د.الهدب تكون أوضح فى الفتحات الضيقة

شكل (٣ - ١٥)





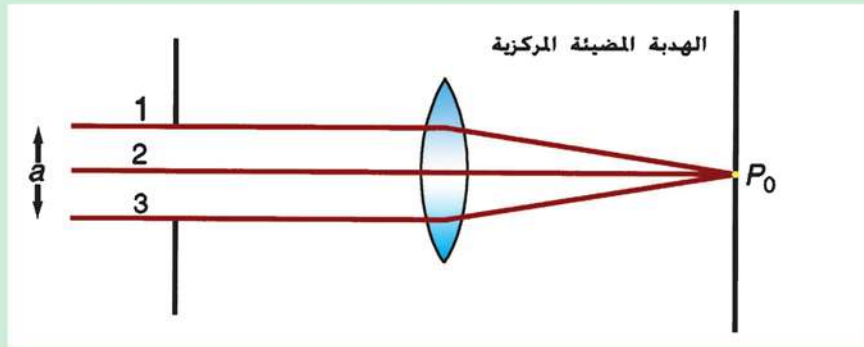
شكل (٣ - ١٦)

الحيود هو تداخل موجات ثانوية صادرة من نقاط مختلفة من الفتحة

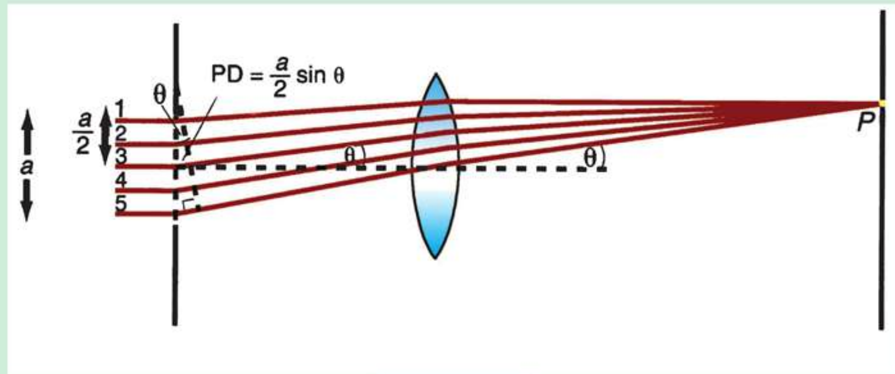
معلومة إثرائية

تفسير الحيود

لتفسير كيف ينشأ نموذج الحيود (هدب مضيئة تتخللها هدب مظلمة) يوضح شكل (٣-١٧) موجة مستوية تتقدم نحو حائل به شق مستطيل يوجد أمامه على بعد كبير نسبيا شاشة بيضاء موازية له. طبقا للنظرية الموجية تعتبر نقاط صدر الموجة على امتداد الشق بمثابة مـصادر تشع مـويجـات ثانوية Secondary Wavelets. والضـوء الصـادر من هذه المويجات يسقط كحزمة متوازية على الشاشة عند نقطة على نفس استقامة مركز الشق بالحائل وتعمل العدسة على تجميع الأشعة عند نقطة محددة P على الشاشة. وفى هذه الحالة تكون جميع مويجات الضوء الساقطة على الشاشة لها نفس الطور. لذلك يحدث بينها تداخل بناء يظهر على شكل هدبة مضيئة (شكل ٣-١٧ أ) .

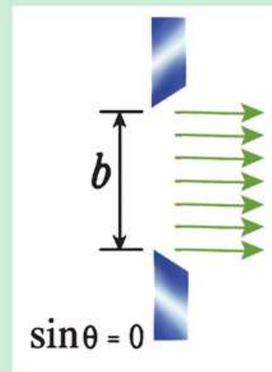


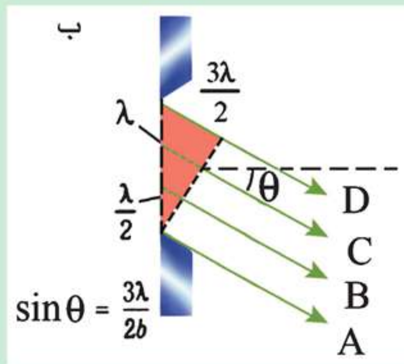
شكل (٣ - ١٧أ)
تكون الهدبة المضيئة المركزية



شكل (٣ - ١٧ب)
تتابع تكون الهدب

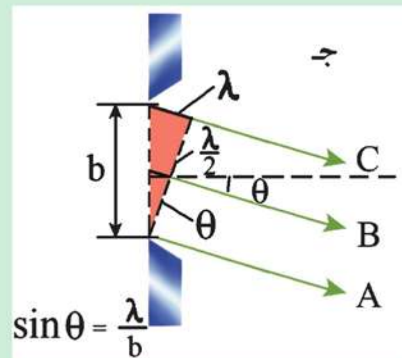
وعندما تسقط الحزمة الضوئية للمويجات الثانوية على الشاشة البيضاء بزاوية θ مع المستقيم الواصل بين مركز الشق ومركز الهدبة المضيئة على الحائل (شكل ٣-١٧ب) فإن أشعة الضوء الصادرة تتداخل، بحيث أن الفرق فى المسار بين الشعاع المنبعث من أعلى نقطة فى النصف العلوى من الفتحة مع الشعاع المنبعث من أسفل نقطة فى النصف السفلى من الفتحة هو عدد صحيح من λ ، فإنه يحدث تداخل هدام. وإن كان الفرق عددا فرديا من $\frac{\lambda}{2}$ يحدث تداخل بناء (شكل٣ - ١٨).

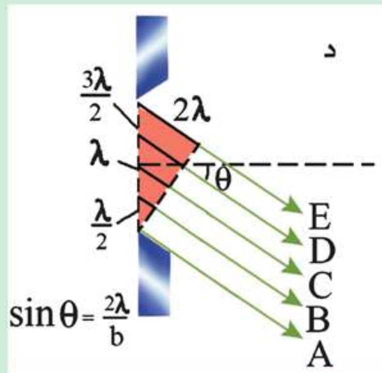




شكل (٣ - ١٨)

أ ، ب - هدبة مضيئة





شكل (٣ - ١٨)

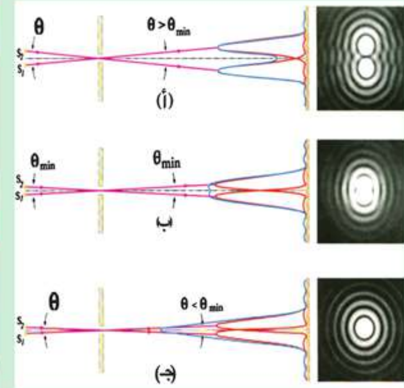
جـ ، د هدبة مظلمة

معلومة إثرائية

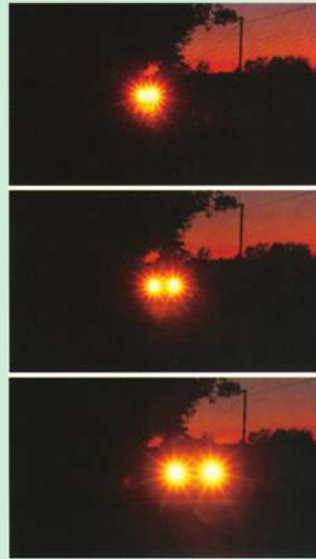
القدرة على التحليل

الحيود يضع قيودا على القدرة على التحليل Limit of Resolution

إذا كان لدينا مصدران ضوئيان على شكل نقطتين وانبعث ضوء من كل منهما من خلال فتحة دائرية Aperture، فإن كل مصدر يكون هدبة مستقلة. ولكن إذا تقاربت المسافة بين المصدرين، فإن الهدبتين تتقاربان ويصعب التفرقة بينهما. وقد وجد أن الزاوية بين مركزى الهدبتين تعطى تقريباً بالعلاقة $\Delta\theta = \frac{\lambda}{D}$، حيث D هى قطر الفتحة Aperture، اى أن القدرة علي التمييز بين جسمين صغيرين تتناسب عكسيا مع قطر الفتحة، وطرديا مع الطول الموجى. ولذلك ففى حالة الميكروسكوب فإن العدسة (تماثل الفتحة Aperture) والطول الموجى يحدان من قدرة الميكروسكوب على التمييز بين الجسيمات الصغيرة وبعضها البعض. وكلما صغرت λ ، نرى تفاصيل لم يكن متاحا رؤيتها من قبل، وهذه ميزة الميكروسكوب الإلكترونى كما سنرى (فصل ١٢).



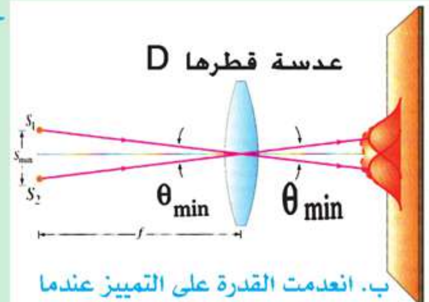
أ. كلما اقترب المصدران من بعضهما أصبحت القدرة على التمييز بينهما أصعب بسبب الحيود



جـ. مصدران ضوئيان يقتربان حتى أمكن التفريق بينهما



د. بكتيريا تظهر بالميكرسكوب الإلكترونى ولا تظهر بالميكروسكوب الضوئى



ب. انعدمت القدرة على التميز عندما صغرت المسافة بين الجسمين وصغر حجمهما

شكل (٣ - ١٩)
القدرة على التحليل

الضوء حركة موجية :

يتضح لنا من الفقرات السابقة ان الضوء :

(١) ينتشر فى خطوط مستقيمة.

(٢) ينعكس وفقاً لقانونى الانعكاس.

(٣) ينكسر وفقا لقانونى الانكسار.

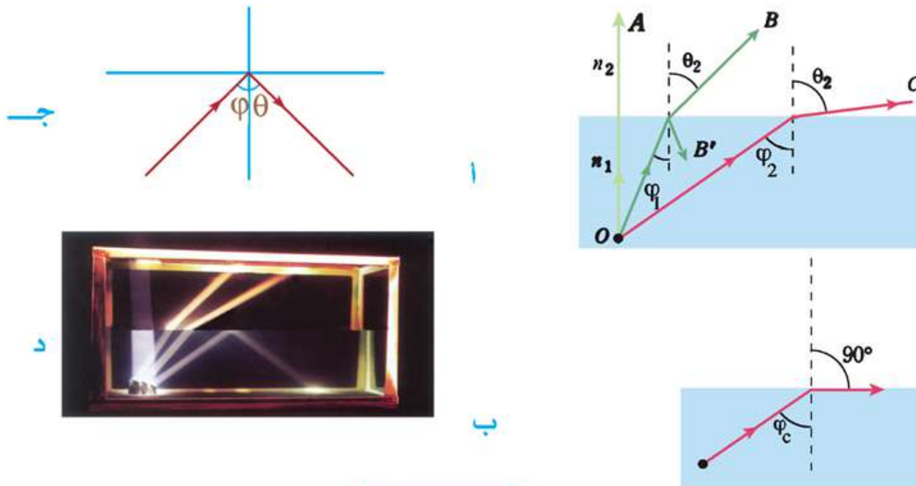
(٤) يتداخل الضوء وينشأ عن التداخل تقوية فى شدة الضوء فى بعض المواضع (هدب مضيئة) وانعدام فى شدة الضوء فى بعض المواضع الأخرى (هدب مظلمة).

(٥) يحيد الضوء عن مساره إذا اصطدم بعائق.

وهذه هى نفس الخصائص العامة للموجات وبالتالى يكون الضوء حركة موجية.

الإنعكاس الكلى والزاوية الحرجة :

عندما ينتقل شعاع ضوئى من وسط اكبر كثافة ضوئية كالماء (أو الزجاج) الى وسط اقل كثافة ضوئية كالهواء، فإن الشعاع المنكسر يبتعد عن العمود كما فى الشكل (٣-٢٠). ومع زيادة قيمة زاوية السقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية (معامل انكسار مطلق كبير) تزداد قيمة زاوية الإنكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية (معامل انكسار مطلق صغير).



شكل (٣ - ٢٠)

سقوط ضوء من وسط اكبر كثافة ضوئية إلى وسط اقل كثافة ضوئية

وعندما تبلغ زاوية السقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية قيمة معينة ϕ_c عندها تبلغ زاوية الانكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية أكبر قيمة لها وتساوى 90°، وعندها يخرج الشعاع المنكسر موازياً للسطح الفاصل. وتسمى زاوية السقوط فى هذه الحالة الزاوية الحرجة ϕ_c وهى زاوية سقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية تقابلها زاوية الانكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية تساوى 90°

بتطبيق قانون سنل فى هذه الحالة :

$$n_1 \sin \phi_c = n_2 \sin 90^\circ$$

ومنها

$$\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1} = {}_1n_2 \qquad (3-6)$$

حيث n_1 معامل انكسار الوسط الأكبر كثافة ضوئية، n_2 معامل انكسار الوسط الأقل كثافة ضوئية، ϕ_c الزاوية الحرجة.

وعندما يكون الوسط الأقل كثافة ضوئية هو الهواء يكون $n_2= 1$ ، وعندئذ نكتب العلاقة السابقة على الصورة :

$$n_1 \sin \phi_c = 1$$

$$n_1 = \frac{1}{\sin \phi_c} \qquad (3-7)$$

حيث n_1 معامل الانكسار المطلق للوسط الأكبر كثافة .

وبذلك يمكن حساب معامل إنكسار الوسط بمعرفة الزاوية الحرجة له. وإذا زادت قيمة زاوية السقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية عن الزاوية الحرجة فإن الشعاع الضوئى لا ينفذ الى الوسط الثانى الأقل كثافة ضوئية، وإنما ينعكس إنعكاسا كلياً فى نفس الوسط ، على خلاف أى زاوية سقوط أخرى أقل من الزاوية الحرجة، حيث ينفذ جزء وينعكس جزء آخر كما فى الصورة الموضحة (شكل ٣- ٢٠ جـ ، د).

أمثلة :

١- إذا كان معاملا انكسار الزجاج والماء هما 1.6 و 1.33 على الترتيب، فاحسب الزاوية الحرجة لكل منهما.

الحل

فى حالة الزجاج

$$n_1 = \frac{1}{\sin \phi_c}$$

$$\sin \phi_c = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{1.6} = 0.625$$

ومنها : $\phi_c = 38^\circ\ 41'$

فى حالة الماء :

$$\sin\phi_c = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{1.33} = 0.7518$$

ومنها $\phi_c = 48^\circ\ 45'$

٢- مستخدما البيانات المعطاه فى المثال السابق احسب الزاوية الحرجة للضوء الساقط من الزجاج الى الماء.

الحل :

باستخدام قانون سنل

$$n_2 \sin 90^\circ = n_1 \sin\phi_c$$

$$1.33 \times 1 = 1.6 \sin\phi_c$$

$$\sin\phi_c = \frac{1 \times 1.33}{1.6} = 0.8313$$

ومنها $\phi_c = 56^\circ\ 14'$

بعض تطبيقات الانعكاس الكلى :

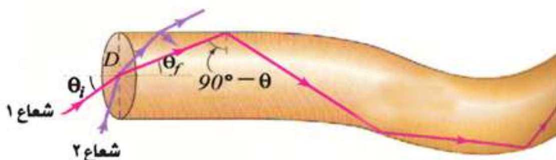
أولا: الألياف الضوئية (البصرية) Fiberoptics (Optical Fibers)



شكل (٣ - ٢١)
الألياف تحافظ على الشعاع رغم انثناء الألياف

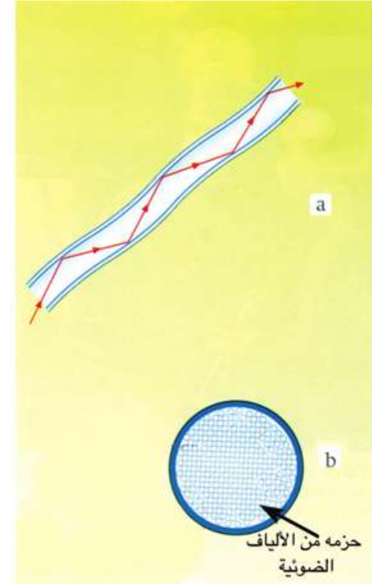
ويوضح الشكل (٣-٢١) ليفة ضوئية -وهى قضيب مصمت رفيع من مادة شفافة- إذا دخل الضوء من أحد طرفيها فإنه يعانى إنعكاسات كلية متتالية (زاوية السقوط اكبر من الزاوية الحرجة) حتى يخرج من طرفها الآخر (شكل ٣-٢٢) .

ويوضح الشكل (٣-٢٣) حزمة مكونة من آلاف الألياف معا تتكون منها حزمة مرنة قابلة للانثناء ، بحيث تصل إلى أماكن يصعب الوصول إليها، ويمكن استخدامها فى نقل الضوء بدون فقد يذكر. وتلقى الألياف الضوئية الآن اهتماماً كبيراً.

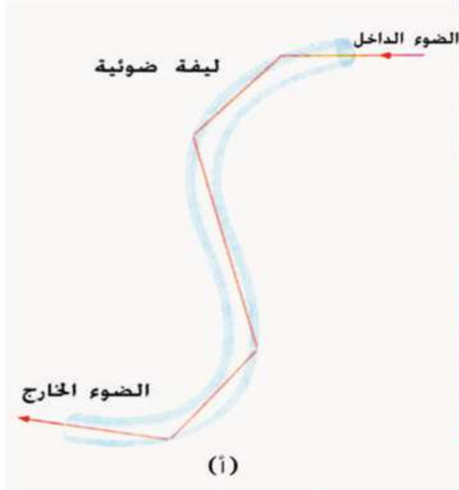


شكل (٣ - ٢٢)
الياف ضوئية

فالليفة الضوئية أو البصرية تستخدم الآن فى







شكل (٣ - ٢٣)

ألياف ضوئية

الفحوص الطبية مثل المناظير الطبيةEndoscopes (شكل ٣-٢٤)، والتي تستخدم فى التشخيص ،كما تستخدم فى إجراء العمليات الجراحية باستخدام شعاع الليزر الذى سندرسه فى الفصل الرابع عشر. كما يستخدم الليزر فى الاتصالات الكهربية عن طريق تحميل الضوء لملايين الإشارات الكهربية فى كابل من الألياف الضوئية (شكل ٣ - ٢٥).

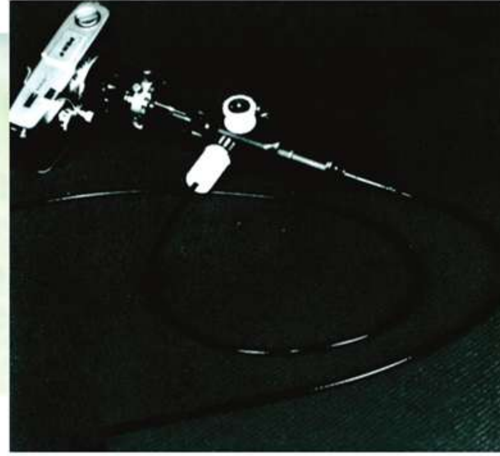




شكل (٣ - ٢٤أ)

إجراء عمليات جراحية باستخدام

المناظير الطبية





شكل (٣ - ٢٤ب)

بعض أشكال المناظير الطبية



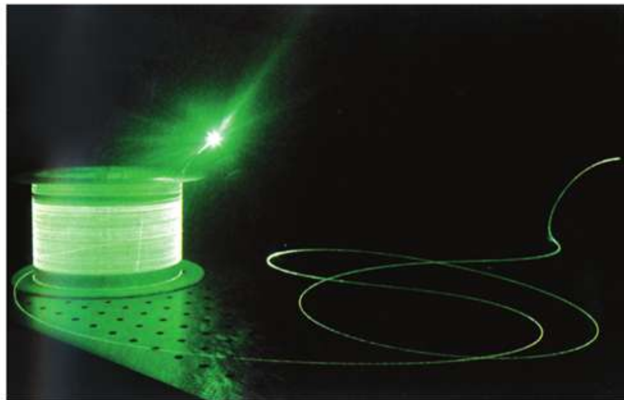
شكل (٣ - ٢٤جـ)

شكل مكبر لعدسة المنظار الطبى



شكل (٣ - ٢٤د)

صورة تجويف المرئ بالمنظار الطبى



شكل (٣ - ٢٥)

ألياف ضوئية تستخدم فى نقل الإشارات الكهربية

معلومة إثرائية

فراء الدب

فـراء الدب لا يوفـر له عـزلا حـراريا فـحـسب، ولكن شـعـيـرات الفـراء تمثل مـجـمـوعـة هائلة من الألياف الضوئية التي تعكس الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet . ولذا يظهـر هذا الفـراء أبيض اللون (شـكل ٣-٢٦) ، لان الـضـــوء المرئي ينعكس على الاسطح الداخلية لهذه الشعيرات المجوفة الشفافة. ويمتص الجلد نفسـه كل مـا يصل اليـه من أشـعـة ولذلك فهو أسود اللون .



شكل (٣ - ٢٦)

فراء الدب

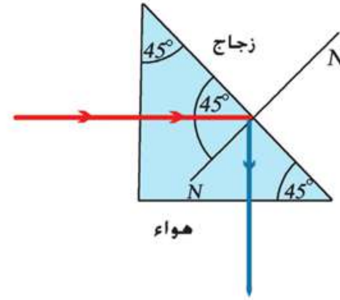
كيف تعمل الألياف الضوئية:

إذا كان لدينا أنبوبة مجوفة ، ونظرنا من أحد طرفيها لنرى جسماً مضيئا فى الطرف الآخر، فإنه يمكن رؤيته . أما إذا حدث أنثناء للأنبوبة المجوفة ، فلا يمكن رؤية الجسم المضىء .

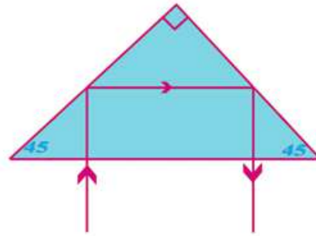
وفى هذه الحالة كيف يمكن رؤيته؟ إذا وضعنا مرايا عاكسة عند مواضع مسار الشعاع الضوئى ، فإننا نستطيع فى هذه الحالة رؤية الجسم المضىء . وبالمثل يمكن استخدام الألياف الضوئية عند سقوط شعاع ضوئى بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة فإنه يحدث إنعكاسات كلية ليخرج الشعاع بكامل طاقته من الطرف الآخر رغم انثناء هذه الألياف.

ثانيا المنشور العاكس :

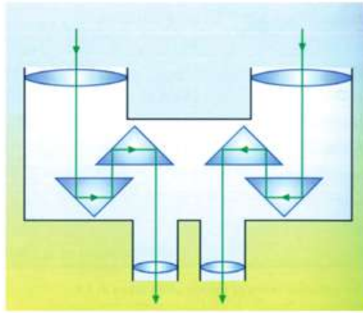
نظراً لأن الزاوية الحرجة بين زجاج معامل إنكساره المطلق (1.5) والهواء حوالى 42° فإن منشوراً ثلاثيا من الزجاج زواياه ($90^\circ, 45^\circ, 45^\circ$) يستخدم فى تغيير مسار حزمة ضوئية بمقدار 90° أو 180°، ومثل هذا المنشور يستخدم فى بعض الآلات البصرية مثل البيرسكوب Periscope الذى يستخدم فى الغواصات البحرية وفي مناظير الميدان Binoculars (شكل ٣-٢٧).



أ. المنشور العاكس يغير مسار الضوء 90°



ب. المنشور العاكس يغير مسار الضوء 180°


جـ. استخدام المنشور فى منظار الميدان

شكل (٣ - ٢٧)
المنشور العاكس

واستخدام المنشور لهذا الغرض أفضل من استخدام السطح المعدنى العاكس (أو المرآة)

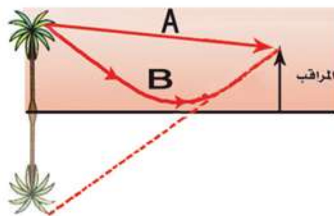
أولا : لأن الضوء ينعكس فى المنشور انعكاسا كلياً . ومن النادر أن يتواجد السطح المعدنى العاكس الذى تبلغ كفاءته 100%.

ثانياً : يتعرض السطح المعدنى لما يفقده بريقه أو لمعانه ، فتقل قابليته لعكس الضوء،ولا يحدث مثل هذا فى المنشور. صحيح أن جزءاً أو نسبة من الضوء تفقد عند دخوله أو خروجه من المنشور ، ولكن يمكن تجنبها بتغطية السطح الذى يدخل منه الضوء أو يخرج منه بغشاء رقيق غير عاكس (معامل انكساره أقل من معامل انكسار الزجاج) مثل الكريوليت (فلوريد الألومنيوم وفلوريد الماغنسيوم).

ثالثا السراب :

السراب ظاهرة مألوفة فى الأيام القائظة (شديدة الحرارة) ويمكن رؤيتها صيفاً فى الطرق حيث يبدو الطريق لراكب السيارة كما لو كان مغطى بالماء، (شكل ٣-٢٨أ) وكما يمكن ملاحظتها فى الصحارى حيث ترى للنخيل أو التلال صورا مقلوبة شبيهة بتلك الصور التى تحدث بالإنعكاس عن سطح الماء، وعندئذ يظن المراقب وجود الماء (شكل ٣-٢٨ب).


شكل (٣ - ٢٨أ)
الطرق المهدة تبدو مبللة



شكل (٣ - ٢٨ب)
انعكاس السماء فى الصحراء يوحى بوجود ماء

وتفسر هذه الظاهرة كما يلى :

فى الأيام شديدة الحرارة ترتفع درجة حرارة الطبقات الهوائية الملاصقة لسطح الأرض فتقل كثافتها عن كثافة الطبقات التى تعلوها. ويترتب على ذلك أن تكون معاملات انكسار طبقات الهواء العليا أكبر من تلك التى تحتها. لذلك إذا تتبعنا شعاعاً ضوئياً صادراً من قمة نخلة مثلاِ فإن هذا الشعاع عند انتقاله من الطبقة العليا الى الطبقة التى تقع تحتها ينكسر مبتعداً عن العمود. وعند إنتقاله من هذه الطبقة الى التى تليها يزداد إنحرافه. وهكذا يزداد إنحراف الشعاع أثناء إنتقاله خلال طبقات الهواء المتتالية، متخذاً مساراً منحنياً ، وعندما تصبح زاوية سقوطه فى إحدى الطبقات أكبر من الزاوية الحرجة بالنسبة للطبقة التى تحتها، فإن الشعاع الضوئى ينعكس إنعكاساً كلياً، متخذاً مساراً منحنياً الى أعلى حتى يصل الى العين التى ترى صورة قمة النخلة على إمتداد الشعاع الذى يصلها . وهذا يفسر رؤية صورتها مقلوبة (شكل ٣-٢٨) فيظن المراقب أن هناك ماء .

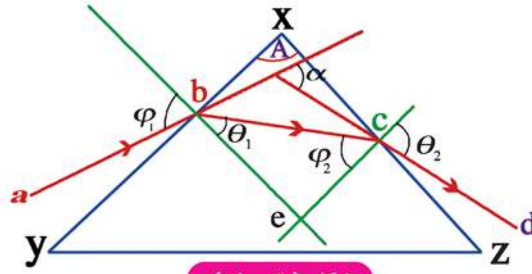
الإنحراف فى المنشور الثلاثى:

عندما يسقط شعاع ضوئى مثل الشعاع (ab) على الوجه (XY) لمنشور ثلاثى ، فإن هذا الشعاع ينكسر داخل المنشور متخذا المسار (bc) حتى يسقط على الوجه (XZ) فيخرج الى الوسط الأول فى الاتجاه (cd) كما فى الشكل (٣-٢٩).

ومن هذا الشكل نتبين أن الشعاع الضوئى فى المنشور الثلاثى ينكسر مرتين ، احداهما عند الوجه الأول (XY) والاخرى عند الوجه الثانى (XZ) . ونتيجة لذلك ينحرف الشعاع عن مساره بزاوية معينة هى زاوية الانحراف α

زاوية الانحراف Deviation Angle: هى الزاوية الحادة المحصورة بين امتدادى الشعاع الساقط والشعاع الخارج ويرمز لها هنا بالرمز α

وإذا كانت زاوية السقوط هى ϕ_1 وزاوية الانكسار عند الوجه الأول هى θ_1 وزاوية السقوط على الوجه الثانى هى θ_2 وزاوية الخروج هي ϕ_2 وزاوية رأس المنشور A ، فإننا نتبين من هندسة الشكل (٣-٢٩) ما يلى.



شكل (٣ -٢٩)

مسار شعاع الضوء فى منشور ثلاثى

$$\alpha = (\phi_1 - \theta_1) + (\theta_2 - \phi_2)$$

$$\alpha = (\phi_1 + \theta_2) - (\theta_1 + \phi_2)$$

حيث أن مجموع زوايا الشكل الرباعى bxce هو 2π و الزاويتين b و c قائمتان فإن الزاوية e هى $(180° - A°)$ وفى المثلث bce مجموع الزوايا 180^0، و على ذلك فإن

$$\theta_1 + \phi_2 = 180° - (180° - A°) = A° \qquad (3 - 8)$$

وبالتعويض من المعادلة (8- 3) نجد أن :

$$\alpha = \phi_1 + \theta_2 - A° \qquad (3 - 9)$$

ومن هذه العلاقة نتبين أن زاوية الانحراف فى منشور ثلاثى زاوية رأسه $A°$ تتوقف على زاوية السقوط ϕ_1.

ويمكن عملياً بيان أن زاوية الانحراف تتناقص تدريجياً مع إزدياد زاوية السقوط حتى تصل زاوية الانحراف الى حد معين يعرف بالنهاية الصغرى للإنحراف، بعده تأخذ زاوية الإنحراف فى الازدياد تدريجيا مع ازدياد زاوية السقوط كما فى الشكل (٣ - ٣٠).

وفى وضع النهاية الصغرى للانحراف يمكن عملياً ونظرياً إثبات أن :

$$\phi_1 = \theta_2 = \phi_o$$

$$\theta_1 = \phi_2 = \theta_o$$

وتصبح العلاقتان (8 - 3) و (9 - 3) كما يلى :

$$A = 2\theta_o$$

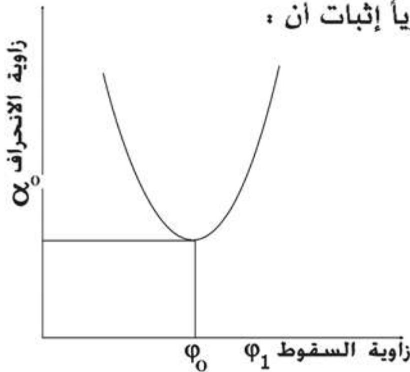
ومنها

$$\theta_o = \frac{A}{2}$$

ومنها

$$\alpha_o = 2\phi_o - A$$

$$\phi_o = \frac{\alpha_o + A}{2}$$



شكل (٣ -٣٠)

زاوية الإنحراف لها نهاية صغرى

ولكن

$$n = \frac{\sin \phi}{\sin \theta}$$

بالتعويض عن ϕ ، θ نجد أن معامل الانكسار للمنشور فى وضع النهاية الصغرى للانحراف يتعين من العلاقة :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} \qquad (3 - 10)$$

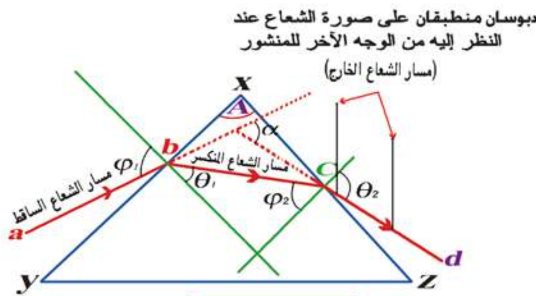
تجربة عملية : تعيين مسار شعاع ضوئى خلال منشور زجاجى واستنتاج قوانين المنشور

الأدوات المطلوبة :

منشور من الزجاج زاوية رأسه $60°$ - دبابيس - منقلة - مسطرة.

خطوات العمل :

١- ضع المنشور على ورقة بيضاء وحدد قاعدته المثلثة - ثم ابعد المنشور وارسم خطًا (ab) مائلاً على أحد وجهى المنشور يمثل شعاعاً ساقطاً بزاوية سقوط معينة. ضع المنشور فى موضعه ، ثم انظر فى الجانب المقابل ، وحدد موضع الشعاع الخارج (cd) بالاستعانة بالدبابيس ، أو بوضع مسطرة والنظر بحيث تصبح حافة المسطرة على امتداد صورة الشعاع الساقط (ab) . ثم ارسم خطا (cd) فى محاذاة حافة المسطرة. تجد أن هذا الخط يقع على امتداد صورة الخط الأول.



شكل (٣ - ٣١)

مسار شعاع الضوء فى منشور ثلاثى

٢- ارفع المنشور ثم صل (bc) فيكون مسار الشعاع الضوئى هو (abcd) من الهواء إلى الزجاج إلى الهواء ثانية.

٣- مد الشعاع الخارج (cd) على استقامته حتى يقابل امتداد الشعاع الساقط (ab) فتكون الزاوية المحصورة بينهما هى زاوية الانحراف α (شكل ٣-٣١).

٤- قس كلاً من زاوية السقوط ϕ_1 وزاوية الانكسار θ_1 وزاوية السقوط الداخلية ϕ_2 وزاوية الخروج θ_2 وزاوية الانحراف α.

٥- كرر العمل السابق عدة مرات بتغيير زاوية السقوط وضع النتائج فى جدول .

زاوية رأس المنشور A	زاوية السقوط ϕ_1	زاوية الانكسار θ_1	زاوية السقوط الداخلية ϕ_2	زاوية الخروج θ_2	زاوية الانحراف α

استخدم المعادلتين $(3 - 8)$ و$(3 - 9)$ لحساب قيمتين A، α وطابق النتائج بالقيم المقاسة عملياً

تفريق الضوء Dispersion بواسطة المنشور الثلاثى :

استنتجنا فى الفقرة السابقة إنه فى وضع النهاية الصغرى للإنحراف يتعين معامل انكسار مادة المنشور من العلاقة :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

حيث n معامل الانكسار، α_o هى النهاية الصغرى للإنحراف، A زاوية رأس المنشور، ونظرا لأن زاوية رأس المنشور ثابتة فإننا نتبين أن تغير معامل الانكسار يتبعه تغير فى قيمة زاوية النهاية الصغرى للانحراف، فبزيادة معامل الانكسار تزداد قيمة النهاية الصغرى للإنحراف والعكس صحيح.



شكل (٣ -٣٢)

المنشور يفرق الوان الطيف

ونظراً لأن معامل الإنكسار n يتوقف على الطول الموجى، فإن زاوية النهاية الصغرى للإنحراف تتوقف بدورهاعلى الطول الموجى.

لذلك إذا سقطت حزمة ضوء أبيض على منشور ثلاثى مهيأ فى وضع النهاية الصغرى للإنحراف فإن الضوء الخارج من المنشور يتفرق الى الوان الطيف المعروفة كما فى الشكل (٣ - ٣٢).

ومن الشكل نتبين أن أشعة الضوء البنفسجى تكون اكثر الأشعة إنحرافاً (معامل إنكسارها اكبر) وأن

أشعة الضوء الأحمر تكون أقل الأشعة إنحرافاً (معامل إنكسارها أصغر). وألوان الطيف المرئى التى يتفرق إليها الضوء الأبيض هى بالترتيب (من جهة رأس المنشور الى قاعدته):-

الأحمر - البرتقالى - الأصفر - الأخضر - الأزرق- النيلى - البنفسجى.

المنشور الرقيق :

هو عبارة عن منشور ثلاثى من الزجاج مثلاً زاوية رأسه صغيرة لا تتجاوز عدة درجات ويكون دائماً فى وضع النهاية الصغرى للانحراف أى أن معامل إنكسار مادة المنشور يحسب من العلاقة :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

ونظراً لأن $\left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right)$ وكذلك $\left(\frac{A}{2}\right)$ هى زوايا صغيرة ، يكون جيب الزاوية مساويا لقيمة الزاوية بالتقدير الدائرى . وعلى ذلك يكون :

$$\sin\left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right) \cong \left(\frac{\alpha_0 + A}{2}\right)$$

وكذلك

$$\sin\left(\frac{A}{2}\right) \cong \frac{A}{2}$$

وبالتعويض عنهما فى العلاقة السابقة نجد أن معامل انكسار مادة المنشور الرقيق يتعين من العلاقة الآتية :

$$n = \frac{\alpha_0 + A}{A} \qquad (3\text{-}11)$$

$$\alpha_0 = A(n - 1) \qquad (3 - 12)$$

قوة التفريق اللونى Dispersive Power

عند سقوط ضوء أبيض على منشور ثلاثى يتفرق هذا الضوء إلى ألوان الطيف المعروفة. ويرجع هذا الى إختلاف معاملات الإنكسار تبعاً لإختلاف أطوالها الموجية.

$$(\alpha_0)_r = A(n_r - 1)$$

$$(\alpha_0)_b = A(n_b - 1)$$

حيث A زاوية رأس المنشور الرقيق ، n_r معامل انكسار مادته للضوء الأحمر، n_b معامل انكسار مادته للضوء الأزرق.

بالطرح نجد أن :

$$(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r = A(n_b - n_r) \qquad (3 - 13)$$

يمثل الطرف الأيسر ما نسميه بالإنفراج الزاوى بين الشعاعين الأزرق والأحمر، وبالنسبة للضوء الأصفر (الذى يتوسط اللونين الأحمر والأزرق) تكون زاوية انحرافه فى المنشور الرقيق هى :

$$(\alpha_o)_y = A(n_y - 1) \qquad (3 - 14)$$

حيث n_y معامل انكسار مادة المنشور للضوء الأصفرفإذا كانت $(\alpha_o)_y$ متوسط $(\alpha_o)_r$ ، $(\alpha_o)_b$

فإن n_y متوسط n_r ، n_b

وبالقسمة نجد أن :

$$\omega_\alpha = \frac{(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r}{(\alpha_o)_y} = \frac{n_b - n_r}{n_y - 1} \qquad (3 - 15)$$

وتسمى ω_α قوة التفريق اللونى Dispersive Power ، وهى كما نرى لا تتوقف على زاوية رأس المنشور.

تلخيـــص

- قانونا انعكاس الضوء:

(١) زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

(٢) الشعاع الضوئى الساقط والشعاع الضوئى المنعكس والعمود من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعها فى مستوى واحد عمودى على السطح العاكس.

- يغير الضوء من اتجاه انتشاره عند انتقاله من وسط الى وسط آخر بسبب اختلاف سرعة الضوء v_2 فى الوسط الثانى عن سرعته v_1 فى الوسط الأول. ويخضع الضوء فى انكساره لما يلى :

(١) نسبة جيب زاوية السقوط فى الوسط الأول إلى جيب زاوية الانكسار فى الوسط الثانى نسبة ثابتة لهذين الوسطين، (تسمى معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول الى الوسط الثانى) ويرمز لها بالرمز ${}_1n_2$

$$ {}_1n_2 = \frac{\sin\phi}{\sin\theta} $$

حيث ϕ زاوية السقوط فى الوسط الأول ، θ زاوية الانكسار فى الوسط الثانى.

(٢) الشعاع الضوئى الساقط والشعاع الضوئى المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل تقع جميعها فى مستوى واحد عمودى على السطح الفاصل.

- معامل الانكسار من الوسط الأول الى الوسط الثانى هو نسبة سرعة الضوء v_1 فى الوسط الأول إلى سرعة الضوء، v_2 فى الوسط الثانى أى أن :

$$ {}_1n_2 = \frac{\bar{\bar{v}}_1}{\bar{\bar{v}}_2} $$

وهذه صورة أخرى لمعامل الانكسار النسبى بين وسطين .

- معامل الانكسار المطلق لوسط هو : $n = \frac{c}{v}$

أى هو نسبة سرعة الضوء فى الفراغ إلى سرعة الضوء فى الوسط.

- قانون سنل للضوء ينص على : حاصل ضرب معامل الإنكسار المطلق لوسط السقوط فى جيب زاوية السقوط يساوى معامل الإنكسار المطلق لوسط الإنكسار فى جيب زاوية الإنكسار.

$$ n_1\sin\phi = n_2\sin\theta $$

- المسافة بين أى هدبتين متتاليتين من نفس النوع (مضيئتين أو مظلمتين) فى تجربة ينج تتعين من العلاقة :-

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d}$$

حيث λ طول موجة الضوء المستخدم، R المسافة بين الحائل المعد لاستقبال الهدب والحاجز ذى الشق المزدوج ، d المسافة بين الشقين.

- الضوء حركة موجية.
- الزاوية الحرجة : هى زاوية سقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية تقابلها زاوية انكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية مقدارها $90°$
- معامل الانكسار المطلق لوسط يساوى مقلوب جيب الزاوية الحرجة له عند انتقال الضوء من هذا الوسط إلى الهواء أو الفراغ.

$$n = \frac{1}{\sin \phi_c}$$

- الانعكاس الكلى : عندما تكون زاوية سقوط الضوء فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية أكبر من الزاوية الحرجة، فإن الضوء لا ينفذ إلى الوسط الأقل كثافة ضوئية وإنما ينعكس عند السطح الفاصل انعكاساً كلياً.
- السراب ظاهرة تنتج عن الانعكاس الكلى.
- زاوية رأس المنشور الثلاثى $A = \theta_1 + \phi_2$
- زاوية الانحراف α هى الزاوية الحادة المحصورة بين امتدادى الشعاعين الساقط والخارج وتتعين من العلاقة :

$$\alpha = (\phi_1 + \theta_2) - A$$

حيث ϕ_1 زاوية السقوط، θ_2 زاوية الخروج ، A زاوية راس المنشور.

- فى وضع النهاية الصغرى للانحراف يكون :

$$\phi_1 = \theta_2 = \phi_0$$

$$\theta_1 = \phi_2 = \theta_0$$

يتعين معامل انكسار مادة المنشور من العلاقة :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

حيث n معامل الانكسار، α_o زاوية الانحراف فى وضع النهاية الصغرى ، A زاوية رأس المنشور .

- يتعين الانحراف فى المنشور الرقيق من العلاقة :

$$\alpha_o = A\,(n - 1)$$

- الانفراج الزاوى فى المنشور الرقيق يحسب من ناتج الطرح

$$(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r$$

حيث $(\alpha_o)_b$ زاوية انحراف الأشعة الزرقاء ، $(\alpha_o)_r$ زاوية انحراف الأشعة الحمراء.

- قوة التفريق اللونى ω_α هى :

$$\omega_\alpha = \frac{(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r}{(\alpha_o)_y}$$

$$\omega_\alpha = \frac{n_b - n_r}{n_y - 1}$$

حيث n_b هى معامل انكسار مادة المنشور للون الأزرق.

n_r معامل انكسار مادة المنشور للون الأحمر.

n_y معامل انكسار مادة المنشور للون الأصفر.

أسئلة وتمارين

أولا: أسئلة المقال

١- وضح لماذا يمكن القول بأن الضوء حركة موجية.

٢- اشرح تجربة توضح بها ظاهرة التداخل فى الضوء.

٣- فسر ظاهرة تكون السراب.

ثانيا: عرف كلاً من

معامل الانكسار النسبى بين وسطين - معامل الانكسار المطلق لوسط - الزاوية الحرجة - زاوية الانحراف.

ثالثا: اكمل العبارات التالية

(أ) تتعين المسافة بين هدبتين متتاليتين من نفس النوع من العلاقة ....

(ب) قانون سنل هو ....

(جـ) الإنفراج الزاوى فى منشور رقيق يتعين من العلاقة ....

(د) قوة تفريق مادة، ما هى ....

رابعا: ضع علامة (√) أمام الاختيار الصحيح

(١) عندما ينعكس الضوء تكون :

(أ) زاوية السقوط أقل من زاوية الانعكاس (ب) زاوية السقوط اكبر من زاوية الانعكاس.

(جـ) زاوية السقوط = زاوية الانعكاس (د) لا توجد اجابه صحيحة.

(٢) عندما ينكسر الضوء تكون النسبة $\frac{\sin \phi}{\sin \theta}$ (حيث ϕ زاوية السقوط، θ زاوية الانكسار).

(أ) نسبة ثابتة للوسطين (ب) غير ثابتة لهذين الوسطين.

(جـ) مقدار ثابت أكبر من الواحد الصحيح دائما

(د) مقدار ثابت أقل من الواحد الصحيح دائماً.

(٣) نسبة جيب زاوية السقوط فى الوسط الأول الى جيب زاوية الانكسار فى الوسط الثانى تسمى :

(أ) معامل الانكسار المطلق للوسط الأول.

(ب) معامل الانكسار المطلق للوسط الثانى.

(جـ) معامل الانكسار النسبى من الوسط الثانى الى الوسط الأول.

(د) معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول الى الوسط الثانى.

(٤) معامل الانكسار ${}_1n_2$ يساوى:

(أ) $\frac{n_2}{n_1}$ (ب) $\frac{n_1}{n_2}$ (جـ) n_1n_2 (د) $\frac{\sin\phi_2}{\sin\theta_1}$

(٥) يتعين معامل إنكسار مادة منشور ثلاثى فى وضع النهاية الصغرى للانحراف من :

(أ) $n = \frac{\sin \alpha_o}{\sin A}$ (ب) $n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\alpha_o}{2}\right)}$

(جـ) $n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$ (د) $n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin A}$

(٦) يتعين الإنحراف فى المنشور الرقيق من العلاقة :

(أ) $\alpha_o = n(A-1)$ (ب) $n = A(\alpha_o - 1)$ (جـ) $\alpha_o = A(n+1) =$

(د) $\alpha_o = A(n-1)$

(٧) شعاع ضوئى يسقط على سطح يفصل بين وسطين فإذا كانت زاوية السقوط 60° وزاوية الانكسار 30° فإن معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول الى الوسط الثانى هو:

(أ) $\sqrt{3}$ (ب) $\frac{1}{2}$ (جـ) $\sqrt{2}$ (د) 2

(٨) شعاع ضوئى يسقط بزاوية 48.5° على أحد أوجه متوازى مستطيلات من الزجاج ومعامل انكسار مادته 1.5 فكانت زاوية انكساره هى :

(أ) 20° (ب) 30° (جـ) 35° (د) 40°

(٩) فى تجربة لتعيين النهاية الصغرى للانحراف فى المنشور الثلاثى وجد أن هذه الزاوية تساوى 48.2° فإذا كانت زاوية رأس المنشور 58.8° فإن معامل انكسار مادته هو :

(أ) 1.5 (ب) 1.63 (جـ) 1.82 (د) 1.85

(١٠) إذا كانت الزاوية الحرجة لوسط بالنسبة للهواء هو 45° فإن معامل انكسار هذا الوسط هو :

(أ) 1.64 (ب) 2 (جـ) 1.7 (د) $\sqrt{2}$

(١١) منشور رقيق من الزجاج زاوية رأسه 5° ومعامل انكسار مادته 1.6 تكون زاوية انحراف الضوء فيه هى :

(أ) 5° (ب) 6° (جـ) 8° (د) 3°

(١٢) منشور رقيق يحرف الأشعة الضوئية الساقطة عليه بمقدار 4° فإذا كانت زاوية رأسه 8° فإن معامل انكسار مادته هو :

(أ) 1.5 (ب) 1.4 (جـ) 1.33 (د) 1.6

الوحدة الثانية

الموائـــــع



الفصل الثالث : خواص الموائع الساكنة

الفصل الرابع : خواص الموائع المتحركة

الوحدة الثانية

خواص الموائع



الفصل الثالث : خواص الموائع الساكنة

الوحدة الثانية
المـوائـع

الفصل الثالث
خواص الموائع الساكنة

مقدمة :

إن الموائع هى المواد التى تتميز بقدرتها على الإنسياب، وبالتالى تشتمل الموائع على المواد السائلة والغازية. فى حين أن الغازات تتميز عن السوائل فى قابليتها بسهولة للإنضغاط، بينما تقاوم السوائل أى ضغط عليها تقريباً، وعلى ذلك تتميز السوائل بالحركة الإنسيابية غير القابلة للانضغاط Incompressible. كما أن للسوائل حجم معين فى حين أن الغازات تشغل أى حيز توجد فيه.

الكثافة Density:

هى خاصية أساسية لأى مادة، ويرمز لها بالرمز ρ، وتعرف بكتلة وحدة الحجوم، ووحدتها فى النظام الدولى هى kg/m^3

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (4 - 1)$$

يعزى التغير فى الكثافة من عنصر لآخر لما يلى:

١- التغير فى الوزن الذرى.

٢- الاختلاف فى المسافة البينية بين الذرات أو الجزيئات.

وقد سبق لنا معرفة أن الأجسام ذات الكثافة الصغيرة تطفو فوق السوائل ذات الكثافة الأكبر.

ويوضح الجدول التالى أمثلة لكثافة بعض المواد الشائعة:

المادة	الكثافة kg/m^3	المادة	الكثافة kg/m^3
الجوامد :		الكيروسين	820
الومنيوم	2700	الزئبق	13600
النحاس الأصفر	8600	الجليسرين	1260
النحاس الأحمر	8890	الماء	1000
الزجاج العادى	2600		
الذهب	19300	**الغازات :**	
الجليد (الثلج)	910	الهواء	1.29
الحديد	7900	غاز النشادر	0.76
الرصاص	11400	ثانى اكسيد الكربون	1.96
البلاتين	21400	أول اكسيد الكربون	1.25
الصلب	7830	الهليوم	0.18
السكر	1600	الهيدروچين	0.090
الشمع	1800	النتروچين	1.25
		الأكسچين	1.43
السوائل :			
الكحول الإيثيلى	790		
البنزين	900		
الدم	1040		
الجازولين	690		

ويطلق على نسبة كثافة مادة ما إلى كثافة الماء فى نفس درجة الحرارة اسم الكثافة النسبية للمادة.

$$\text{فالكثافة النسبية لمادة} = \frac{\text{كثافة المادة فى درجة حرارة معينة}}{\text{كثافة الماء فى نفس درجة الحرارة}} \quad (4 - 2)$$

وبصفة عامة :

$$\text{الكثافة النسبية لمادة} = \frac{\text{كتلة حجم معين من المادة فى درجة حرارة معينة}}{\text{كتلة نفس الحجم من الماء فى نفس درجة الحرارة}}$$

ونظرا لأن الكثافة النسبية لمادة هى نسبة بين كميتين متماثلتين، لهذا لا يكون للكثافة النسبية للمادة وحدات تمييز.

تطبيقات الكثافة:

١- قياس الكثافة له أهمية كبرى، حيث تعتبر من إحدى التقنيات التحليلية؛ حيث إنها تستخدم فى قياس كثافة المحلول الإلكتروليتى ببطارية السيارة. فعندما تفرغ الشحنة الكهربية من البطارية تقل كثافة المحلول الإلكتروليتى (حمض كبريتيك مخفف)؛ نتيجة استهلاك حمض الكبريتيك فى تفاعله مع ألواح الرصاص وتكوين كبريتات رصاص، وعند إعادة شحن البطارية

تتحرر الكبريتات من الواح الرصاص، وتعود للمحلول مرة أخرى؛ فتزداد الكثافة. وبذلك يمكن من قياس الكثافة الاستدلال على مدى شحن البطارية.

٢- تستخدم -أيضًا- تطبيقات الكثافة فى العلوم الطبية لقياس كثافة الدم والبول. فكثافة الدم وهو فى الحالة الطبيعية ما بين $1040\ kg/m^3$ إلى $1060\ kg/m^3$، فإذا زادت دل ذلك على أن تركيز خلايا الدم زاد، وإذا نقص عن ذلك، دل ذلك على نقص تركيز خلايا الدم، وهذا يشير إلى مرض فقر الدم (الأنيميا).

والكثافة المعتادة للبول هى $1020\ kg/m^3$ ، وبعض الأمراض تؤدى إلى زيادة فى إفراز الأملاح، وهذا يؤدى إلى زيادة مقابلة فى كثافة البول.

الضغط Pressure:

يعرف الضغط عند نقطة : بالقوة المتوسطة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة. لذلك إذا اثرت قوة (F) عموديا على سطح مساحتة (A) فإن الضغط (P) المؤثر على هذا السطح يتعين من العلاقة :

$$P = \frac{F}{A} \qquad (4 - 3)$$

ونظرا لأن القوة (F) مقدرة بالنيوتن والمساحة (A) مقدرة بالمتر المربع، فإن الوحدة التى يقاس بها الضغط هى نيوتن/متر مربع (N/m^2).

معلومة إثرائية

ضغط قدم الفيل أم قدم الإنسان؟

لأن الضغط هو القوة على وحدة المساحة. فإن الضغط نتيجة كعب مدبب اكبر من الضغط الذى يؤثر به قدم الفيل على الأرض، لأن مساحة الكعب المدبب صغيرة للغاية (شكل ٤-١).

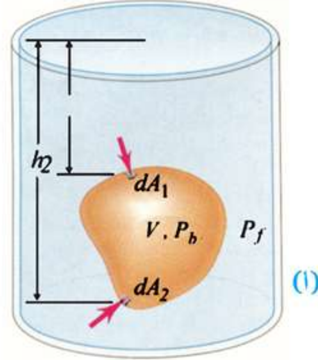


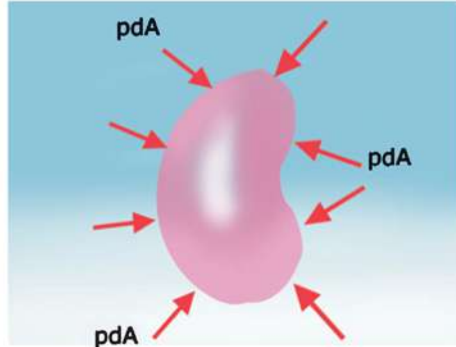
شكل (٤-١)

مفهوم الضغط

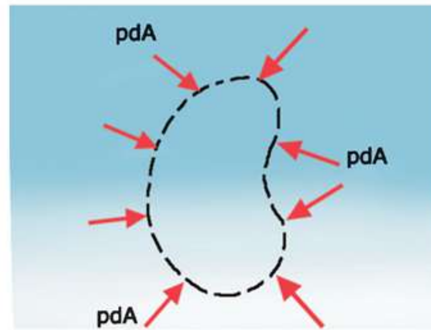
الضغط عند نقطة فى باطن سائل وقياسه :

إذا دفعت قطعة من الفلين تحت سطح الماء ثم تركتها، ستجد أن قطعة الفلين ترتفع إلى سطح الماء مرة ثانية، وهذا يوضح أن الماء يدفع قطعة الفلين المغمورة بقوة إلى أعلى، هذه القوة تنشأ عن فرق ضغط الماء على هذه القطعة.

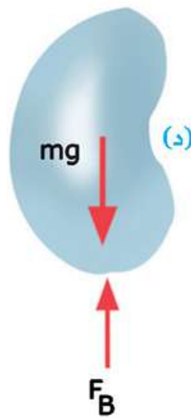




(ب)



(جـ)



شكل (٤-٢)

الضغط داخل سائل

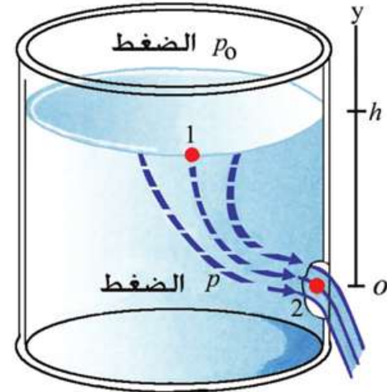
(أ) الضغط داخل سائل يكون عمودياً على أى سطح داخلى

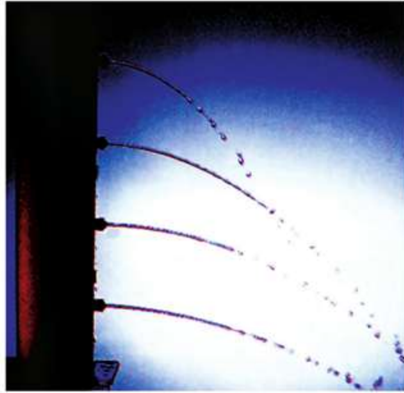
(ب) الضغط يكون عمودياً على سطح جسم مغمور عند كل نقطة عليه

(ج) الضغط على سطح جسم يكون مساوياً للضغط على سطح حيز من السائل مساو لحجم الجسم المغمور وبنفس شكله

(د) حيز السائل تتزن فيه قوتان، وزن السائل وضغط بقية السائل عليه.

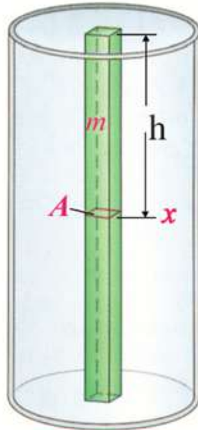
وعند أى نقطة فى باطن سائل، يمكن أن يؤثر الضغط فى اى اتجاه، واتجاه القوة على سطح معين يكون عموديا على السطح. ويكون الضغط علي جسم ما هو نفسه الضغط علي حجم من السائل لو لم يوضع الجسم مكانه. أى أن السائل الذى كان يشغل مكان الجسم تؤثر عليه قوتان؛ وزنه لأسفل وضغط السائل المحيط عليه، وكلما زاد عمق السائل زاد الضغط (شكل ٤-٣).





شكل (٤-٣)
كلما زاد عمق السائل زاد الضغط

ولحساب الضغط (P) نفترض وجود لوح أفقى مساحته $(A)m^2$ على عمق $(h)m$ تحت سطح سائل كثافته $\rho(kg/m^3)$ كما فى الشكل (٤-٤)، يعمل هذا اللوح كقاعدة لعمود من السائل.



شكل (٤-٤)
حساب ضغط عمود من السائل

يمكننا أن ندرك أن القوة التى يؤثر بها السائل على اللوح (X) تساوى وزن عمود من السائل ارتفاعه (h) ومساحة مقطعة (A)، لأن السائل غير قابل للانضغاط Incompressible، فإن القوة الناتجة عن ضغط السائل لابد أن تتزن مع وزن عمود السائل الذى ارتفاعه (h).

وحيث أن حجم هذا السائل يساوى Ah وكتلة السائل تساوى $Ah\rho$، فإن وزن السائل F_g نيوتن يتعين من العلاقة.

$$F_g = Ah\rho g$$

حيث $g(m/s^2)$ هى عجلة الجاذبية؛

عندئذ يتعين ضغط السائل P على اللوح (X) من العلاقة ؛

$$P = \frac{F}{A} = \frac{Ah\rho g}{A}$$

$$\therefore P = h\rho g \ N/m^2 \qquad (4-4)$$

وهذه هى قيمة الضغط الذى يؤثر به السائل وحده عند نقطة فى باطنه على عمق h،

وإذا أخذنا فى الإعتبـار أن سطح السـائل الخالص يتعرض للضـغط الجوى P_a، فإن الضـغط الكلى عند نقطة فى باطن سائل تتعين من العلاقة :

$$P = P_a + h\rho g \qquad (4-5)$$

وتوضح المشـاهدات أن ضـغط السـائل P عند نقطة فى باطنه يزداد بزيادة عـمق هذه النقطة (h) تحت سطح نفس السائل كما يزداد الضغط بزيادة كثافة السائل عند نفس العمق.

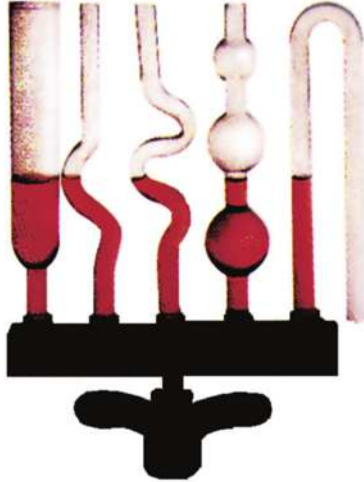
ومن هذه العلاقة يمكن أن نتبين ما يلى :

١- جميع النقط التى تقع فى مستوى أفقى واحد فى سائل يكون لها نفس الضغط.

٢- السـائل الذى يمـلأ إناء مـتعـدد الأجـزاء (الأوانى المسـتطرقـة) Connecting Vessels يرتفع فى هذه الأجـزاء بنفس المقدار، بغض النظرعن الأشكال الهندسية لها بشرط أن تكون قاعدة الاناء فى مستوى أفقى، (شكل ٤ - ٥).

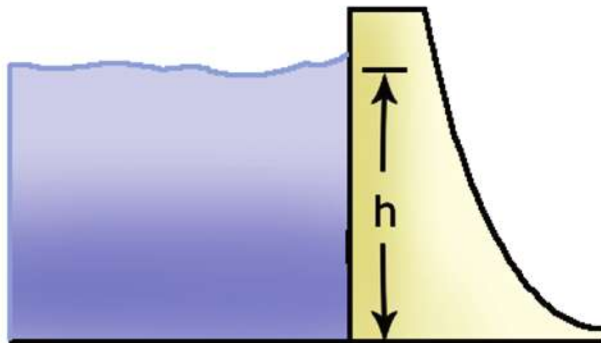
ولهـذا فـإن مسـتـوى سطح البـحـر واحـد لكل البـحـار المتصلة ببعضها.

٣- يزداد سـمك السـد عند قاعدته ليتحـمل الضغط المتزايد عند زيادة العمق (شكل ٤-٦).



شكل (٤-٥)

يرتفع الماء إلى نفس المستوى فى الأوانى المستطرقة



شكل (٤-٦)

قواعد السدود اكثر سمكاً لتتحمل الضغط عند العمق

اتزان السوائل فى أنبوبة ذات شعبتين :

لنأخذ أنبوبة ذات شعبتين على شكل حرف U تحتوى على كمية مناسبة من الماء.

نضيف كمية من الزيت فى أحد فرعى الأنبوبة، وليكن الفرع الأيسر، حتى يصل سطح الزيت إلى مستوى معين عند C، وليكن ارتفاعه h_o فوق السطح الفاصل AD بين الماء والزيت، مع ملاحظة أن الماء والزيت لا يمتزجان بل يكون هناك مستوى فاصل بين الإثنين هو AD، وليكن ارتفاع الماء فى الفرع الأيمن فوق المستوى AD هو h_w (شكل ٤-٧).

ونظرا لأن الضغط عند A = الضغط عند D

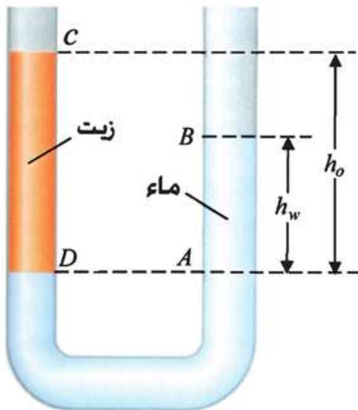
$$\therefore P_a + \rho_o g h_o = P_a + \rho_w g h_w$$

حيث P_a الضغط الجوى، ρ_o كثافة الزيت ، ρ_w كثافة الماء.

$$h_o \rho_o = h_w \rho_w$$

والعلاقة السابقة يمكن اختصارها على النحو التالى :

$$\frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{h_w}{h_o} \qquad (4\text{-}6)$$



شكل (٤-٧)

اتزان السوائل فى الأنبوبة ذات الشعبتين

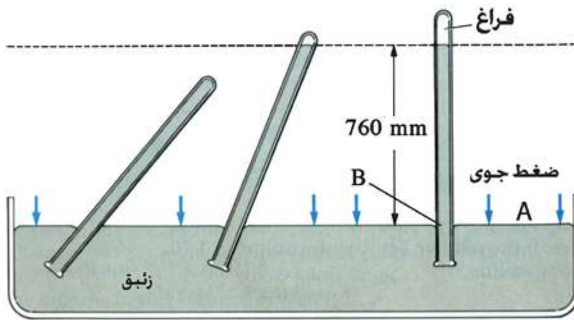
وبقياس h_o ، h_w يمكن تعيين الكثافة النسبية للزيت عمليا.

وبمعلومية كثافة الماء يمكن معرفة كثافة الزيت.

الضغط الجوى Atmospheric Pressure :

لقياس الضغط الجوى قام تورشيلى Torcelli باختراع البارومتر الزئبقى، حيث أخذ أنبوبة زجاجية طولها حوالى متر، وملأها تماما بالزئبق، ثم نكسها فى حوض به زئبق. فلاحظ أن سطح الزئبق فى الأنبوبة قد إنخفض الى مستوى معين بحيث كان الإرتفاع العمودى له 0.76 m تقريباً.

وبديهى أن الحيز الموجود فوق سطح الزئبق فى الأنبوبة يكون مفرغا (إلا من قليل من بخار الزئبق الذى يمكن إهمال ضغطه) يسمى هذا الحيز باسم فراغ تورشيلى.



شكل (٤-٨)
ارتفاع الزئبق فى المانومتر لا يتأثر بميل البارومتر

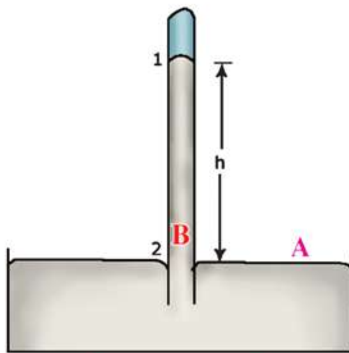
ويتـضح من الشكل (٤-٨) أن الارتفـاع الرأسى h لعـمـود الـزئبق داخل الأنبـوبة فـوق مـستوى السطح الخالص للزئبق فى الحوض يظل ثابتـا، سـواء كـانت الأنبـوبة فى وضع رأسى أو فى وضع مائل.

وإذا أخذنا النقطتين B, A فى مستوى أفــقى واحــد (شكل ٤- ٩)، بحــيث تكون النقطة A خـارج الأنبـوبة عند سطح الزئبق فى الحوض والنقطة B داخلها فإن

الضغط عند B = الضغط عند A

وبذلك يكون :

$$P_a = \rho gh \qquad (4 - 7)$$



شكل (٤-٩)
البارومتر البسيط

مــعنى هذا أن الضــغط الجــوى يكافىء الضـغط الناشىء عن وزن عمود من الزئبق ارتفاعه (حوالى 0.76 m ومـسـاحـة مـقطعـه واحـد مـتـر مـربع (عند صـفـر درجـة سلزيوس).

الضـغط الجوى المعتـاد هو ضـغط الهـواء مقـاسـاً عند سـطح البحـر، وهو 0.76 m Hg ويعرف معدل الضغط ودرجة الحرارة S.T.P بأنه الضغط 0.76mHg ودرجة حرارة 0˚C، ويكرر هذا المصطلح كثيرا عند معالجة قوانين الغازات.

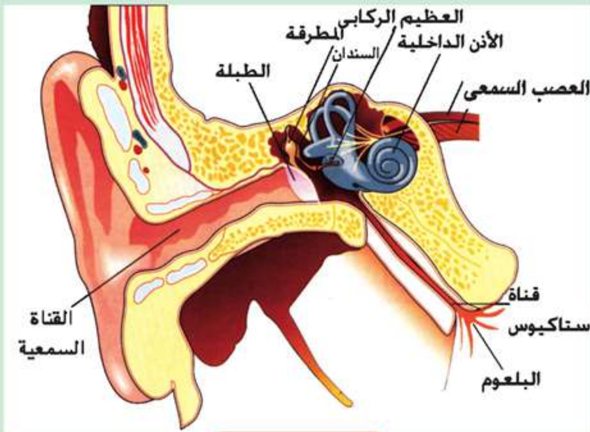
ونظرا لأن كـثـافـة الزئبق عند 0˚C تسـاوى $13595\ kg/m^3$ وعـجـلة الجـاذبية الأرضـية $9.8\ m/s^2$ فإن

$$P_a = 1\ Atm = 0.76 \times 13595 \times 9.81$$
$$= 1.013 \times 10^5\ N/m^2$$

معلومة إثرائية

ماذا يحدث فى الأذن عند الارتفاع عن سطح الأرض؟

الضغط الجوى هو وزن عمود الهواء فوق سطح الأرض لوحدة المساحات. فكلما ارتفعنا عن سطح الأرض قل ارتفاع هذا العمود وبالتالي الضغط. وعند طبلة الأذن يتزن الضغط الخارجى مع الضغط الداخلى للجسم. لذلك عندما يقل الضغط الخارجى نشعر بتوتر في طبلة الأذن، إذ أن الضغط الداخلى يدفعها قليلاً للخارج، ويمكن معادلة هذا الضغط بالتحكم فى كمية الهواء فى قناة استاكيوس Eustachian Tube بالبلع ومضغ اللبان لتخفيض الضغط على الطبلة (شكل ٤ -١٠).



شكل (٤-١٠)
نموذج للأذن

الوحدات التى يقاس بها الضغط الجوى :

يتضح من العلاقة السابقة أن الوحدات التى يقاس بها الضغط الجوى فى النظام الدولى هى نفسها وحدات الضغط وهى N/m^2.

ولقد اتخذت وحدة "باسكال" لتكافىء (N/m^2).

$$1 \text{ Pascal} = 1 N/m^2$$

وبالتالى يكون الضغط الجوى المعتاد $Pa = 1.013 \times 10^5$ Pascal

كما اتخذت وحدة أكبر هى "بار" لتكافىء $(10^5 N/m^2)$ $1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pascal}$

وبالتالى يكون الضغط الجوى المعتاد $Pa = 1.013$ Bar

هذا فضلا عن قياس الضغط الجوى بوحدة ميللميتر زئبق وتسمى أيضاً تور Torr.

$$1 \text{ Torr} = 1 \text{ mm Hg}$$

ولذلك يكون الضغط الجوى:

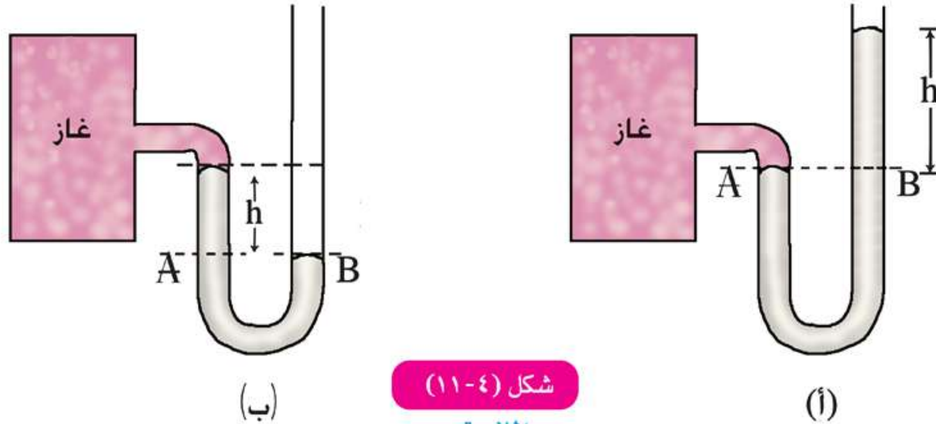
$$P_a (1 \text{ Atm}) = 760 \text{ Torr} = 760 \text{ mm Hg} = 0.76 \text{ m Hg} = 1.013 \text{ Bar}$$

المانومتر :

المانومتر Manometer عبارة عن أنبوبة ذات شعبتين على شكل حرف U تحتوى على كمية سائل مناسب كثافته معروفة، تتصل إحدى شعبتيه بمستودع الغاز المراد قياس ضغطه، ونتيجة لذلك قد يرتفع سطح السائل فى المانومتر فى إحدى الشعبتين وينخفض فى الأخرى.

وإذا أخذنا النقطتين B,A فى مستوى أفقى واحد فى نفس السائل (شكل ٤-١١ أ) يكون:

الضغط عند B = الضغط عند A $\qquad P = P_a + \rho gh$



شكل (٤-١١)

المانومتر

(ا) عندما يكون ضغط الغاز اكبر من الضغط الجوى.

(ب) عندما يكون ضغط الغاز أقل من الضغط الجوى.

حيث P ضغط الغاز المحبوس فى المستودع أكبر من P_a الضغط الجوى، ρgh ضغط السائل فى الفرع الخـالص للمانومتر فوق النقطة B وهو فرق الضغط بين P و P_a. وفى حالة إذا كان ضغط الغاز P أقل من الضغط الجوى (شكل ٤-١١ ب) فإن :

$$P = P_a - \rho gh$$

حيث يكون سطح السائل فى الفرع الخالص للمانومتر أدنى من سطح السائل فى الفرع المتصل بالمستودع.

وفى كثير من التطبيقات العملية لا يكون ضروريا قياس ضغط الغاز فى المستودع وإنما يكون من المفيد قياس فرق الضغط فقط أى :

$$\Delta P = P - P_a = \rho gh \qquad (4 - 8)$$

من هذه العلاقة يمكن بمعرفة كثافة السائل ρ فى المانومتر، وفرق الارتفاع h بين سطحى السائل فى شعبتيه، وكذلك عجلة الجاذبية g حساب فرق الضغط ΔP.

وأيضاً يمكن حساب ضغط الغاز بمعرفة الضغط الجوى.

تطبيقات على الضغط:

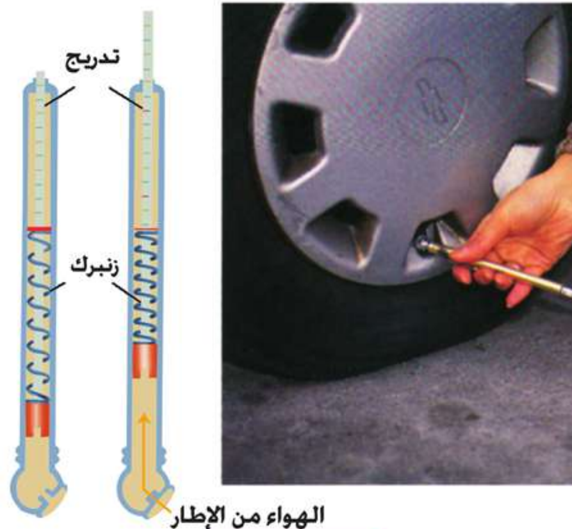
١- الدم سائل لزج، يضخ من خلال نظام معقد من الشرايين والأوردة، بواسطة تأثير عضلى للقلب. وانسياب الدم خلال الجسم -عادة- ما يكون انسيابًا هادئًا.

أما إذا كان معدل انسياب الدم مضطربًا فإنه يكون مصحوبًا بضجيج، ويعتبر هذا الشخص مريضًا. ومن السهل الإحساس بهذا الضجيج من خلال سماعة الطبيب عند وضعها على الشريان، وهذا يحدث عند قياس ضغط الدم، حيث توجد -عادة- قيمتان للضغط:

الضغط الانقباضى Systolic Pressure، وفيه يكون ضغط الدم بالشريان فى أقصى قيمة له، ويحدث عندما تتقلص عضلة القلب، ويندفع الدم من البطين الأيسر Left Ventricle إلى الأورطى (الأبهر) Aorta، ومن هناك إلى الشرايين.

والضغط الانبساطى Diastolic Pressure، وفيه يقل ضغط الدم بالشريان إلى أقل ما يمكن عند انبساط عضلة القلب. وفى الإنسان المتمتع بصحة جيدة يكون الضغط الإنقباضى 120 Torr والضغط الإنبساطى 80 Torr

٢- يمتلئ إطار السيارة بالهواء تحت ضغط عالٍ ، فتكون مساحة التماس مع الطريق أقل ما يمكن، أما إذا كان الإطار ممتلئًا تحت ضغط منخفض فإن مساحة التماس بين الإطار والطريق تزداد، ويؤدى ذلك إلى زيادة الاحتكاك وسخونة الإطار، ويمكن قياس ضغط الهواء فى الإطار بمقياس ضغط الهواء (شكل ٤-١٢).



شكل (٤-١٢)
قياس ضغط هواء فى اطار سيارة

أمثلة :

١- متوازى مستطيلات صلب أبعاده (5 cm x 10 cm x 20 cm) كثافة مادته $5000 kg/m^3$ وضع على سطح مستوى أفقى. إحسب أقصى وأقل ضغط له.

(اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية $10 m/s^2$)

الحل :

(أ) لحساب أقصى ضغط، يوضع الجسم على الوجه ذى المساحة الأقل، وهو الوجه الذى أبعاده (5 cm x 10 cm)

$$P = \frac{F}{A} = \frac{5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 5000 \times 10}{5 \times 10 \times 10^{-4}} = 10^4 \ (N/m^2)$$

(ب) لحساب أقل ضغط يوضع الجسم على الوجه ذى المساحة الأكبر، وهو الوجه الذى أبعاده (10 cm x 20 cm)

$$P = \frac{F}{A} = \frac{5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 5000 \times 10}{10 \times 20 \times 10^{-4}} = 2500 \ N/m^2$$

٢- أوجد الضغط الكلى وكذلك القوى الضاغطة الكلية المؤثرة على قاع حوض به ماء مالح كثافته $1030 kg/m^3$ إذا كانت مساحة مقطع الحوض $1000 cm^2$ وارتفاع الماء به واحد متر، وكان سطح الماء فى الحوض معرضا للهواء الجوى، وعجلة الجاذبية $10 m/s^2$ والضغط الجوى $1.013 \times 10^5 N/m^2$

الحل :

أ- الضغط الكلى

$$P = P_a + \rho g h$$
$$= 1.013 \times 10^5 + 1030 \times 10 \times 1$$
$$= (1.013 + 0.103) \times 10^5 = 1.116 \times 10^5 \ N/m^2$$

(ب) القوة الضاغطة الكلية :

$$F = P \times A = 1.116 \times 10^5 \times 1000 \times 10^{-4}$$
$$= 1.116 \times 10^4 \ N$$

٣- استخدم مانومتر زئبقى لقياس ضغط غاز داخل مستودع، فكان سطح الزئبق فى الفرع الخالص أعلى من سطحه فى الفرع المتصل بالمستودع بمقدار 36 cm

ما قيمة ضغط الغاز المحبوس بوحدات (أ) cmHg (ب) Atm (جـ) N/m^2

علماً بأن الضغط الجوى $0.76\ m.Hg = 1.013 \times 10^5\ N/m^2$

الحل :

(أ) بوحدات cmHg :

$$P = P_a + h = 76 + 36 = 112\ cm\ Hg$$

(ب) بوحدات (Atm) :

$$P = \frac{(P\ cm\ \ Hg)}{76} = \frac{112}{76} = 1.474\ Atm$$

(جـ) بوحدات N/m^2 :

$$P = 1.474 \times 1.013 \times 10^5 = 1.493 \times 10^5\ N/m^2$$

٤- انبوبة على هيئة حرف U مساحة مقطع فرعها الضيق $1cm^2$ ومساحة مقطع فرعها الواسع $2cm^2$ ملئت جزئيا بالماء (كثافتة $1000\ kg / m^3$)، ثم صب فيها كمية من الزيت (كثافته $800\ kg/m^3$) من الفرع الضيق حتى أصبح طول عمود الزيت 5 cm إحسب إرتفاع سطح الماء فوق السطح الفاصل بين الماء والزيت.

الحل :

$$\because P = \rho_o g\ h_o = \rho_w g\ h_w$$

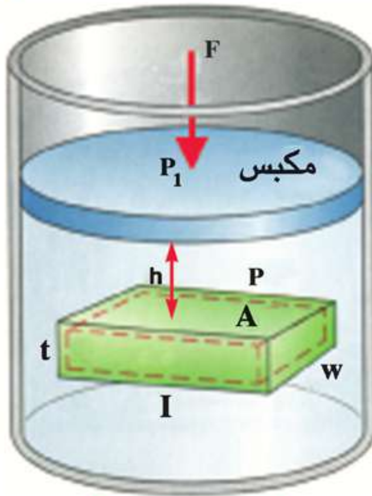
$$\therefore\ \rho_o\ h_o = \rho_w\ h_w$$

$$h_w = \frac{\rho_o\ h_o}{\rho_w} = \frac{800 \times 5}{1000} = 4\ cm$$

ملحوظة :

نصف قطر الأنبوبة (أو مساحة مقطعها) لا يؤثر إطلاقا على إرتفاع كل من السائلين فى فرعى الأنبوبة، من ذلك يتضح أن مستوى السائل فى الإناء لا يتأثر بشكل الإناء.

قاعدة باسكال Pascal's Principle:



شكل (٤-١٣)

زيادة الثقل على المكبس تزيد الضغط فى السائل

إذا أخذنا أحد السوائل فى إناء زجاجى كالمبين بالشكل (٤-١٣) مـزود بمكبس فى أعـلاه، يكون الضـغـط عند نقطة مثل A فى باطنه على عـمق h هو $P = P_1 + h\rho g$ ، حـيث P_1 الضغط عند سطح السـائل (تحت المكبس مـباشـرة) . وينتج عن الضغط الجوى ووزن المكبس أو قوة الكبس.

وإذا زدنا الضغط على المكبس بمقدار ΔP -وذلك بوضع ثقل إضـافى على المكبس- نلاحظ عـدم تحـرك المكبس إلى الداخل لعـدم قـابلية السـائل للانضغاط. لكن الضـغط عند سطح السـائل تحت المكبس مباشـرة سيزداد بدوره بمقدار ΔP، وسيزداد الضـغط عند نقطة A التى تقع على عمق h تحت هذا السطح بدوره بمقـدار ΔP ، ويصبح الضغط عند هذه النقطة $P = P_1 + \rho gh + \Delta P$، فإذا زاد الضغط إلى حد معين يمكن أن ينكسر الإناء.

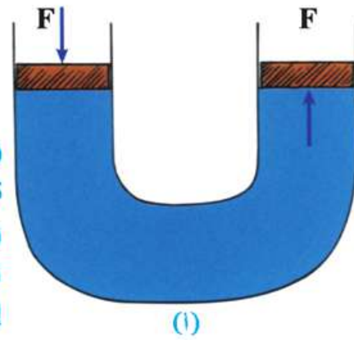
ولقد قام العالم الفرنسى باسكال بصياغة هذه النتيجة كما يلى:

عندما يؤثر ضغط على سائل محبوس فى إناء فإن الضغط ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل كما ينتقل إلى جدران الإناء المحتوى على السائل. ويعرف هذا بمبدأ باسكال أو قاعدة باسكال.

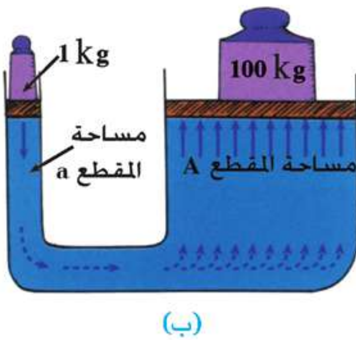
تطبيق على قاعدة باسكال : المكبس الهيدروليكى Hydraulic Press

توجد عدة تطبيقات تعتمد على قاعدة باسكال ومنها المكبس الهيدروليكى وفرامل السيارات.

يتركب المكبس الهيدرولكى كما فى الشكل (٤-١٤) من المكبس الصغير ومساحة مقطعه (a) والمكبس الكبير ومساحة مقطعه (A) ويمتلىء الحيز بين المكبسين بسائل مناسب.



(أ)



(ب)

شكل (٤-١٤)

المكبس الهيدروليكى

(أ) قوة على الجانب الأيسر من السائل تنتقل إلى الجانب الأيمن.

(ب) ثقل 1 kg على الجانب الأيسر يولد قوة تتزن مع 100 kg على الجانب الأيمن إذا كانت نسبة المساحتين a,A هى 1:100

فإذا تأثر المكبس الصغير بضغط P يتأثر السائل بدوره بنفس الضغط.

وينتقل هذا الضغط P بتمامه خلال السائل إلى السطح السفلى للمكبس الكبير.

وإذا فرضنا أن القوة المؤثرة على المكبس الصغير (f) والقوة المؤثرة على المكبس الكبير F، ونظرا لأن الضغط المؤثر على المكبسين له نفس القيمة عند الإتزان فى مستوى أفقى واحد فإن :

$$P = \frac{f}{a} = \frac{F}{A}$$

$$F = \frac{A}{a} f \qquad (4 - 9)$$

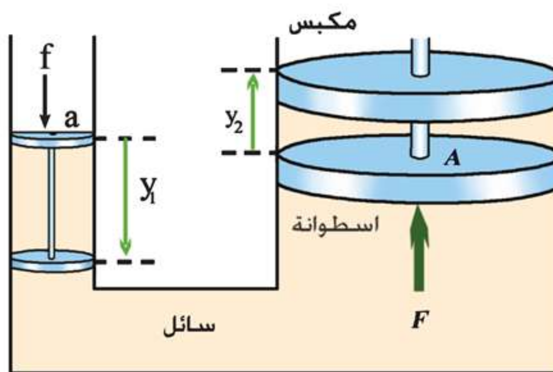
ومن العلاقة السابقة يتضح أنه عندما تؤثر قوة f على المكبس الصغير تتولد على المكبس الكبير قوة اكبر هى القوة F. والفائدة الآلية Mechanical Advantage للمكبس الهيدروليكى ويرمز لها بالرمز η هى:

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} \qquad (4 - 10)$$

أى أن الفائدة الآلية للمكبس الهيدروليكى تتعين بنسبة مساحة المكبس الكبير الى مساحة المكبس الصغير.

وبالرجوع إلى الشكل (٤ - ١٥) يتضح أنه:

إذا تحرك المكبس الصغير إلى أسفل مسافة y_1 تحت تأثير f فإن المكبس الكبير يتحرك إلى أعلى مسافة y_2 تحت تأثير F. وتبعا لقانون بقاء الطاقة يكون الشغل المبذول واحداً فى الحالتين، وبالتالى تكون كفاءة المكبس المثالى (100%)



شكل (٤-١٥)
الفائدة الآلية

$$f\,y_1 = F\,y_2$$

$$\frac{f}{F} = \frac{y_2}{y_1}$$

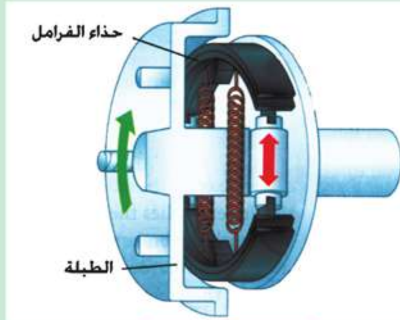
$$F = \frac{y_1}{y_2} f \qquad (4 - 11)$$

وهذا يدل على أن الفائدة الآلية للمكبس يمكن أيضا التعبير عنها بالنسبة $\frac{y_1}{y_2}$.

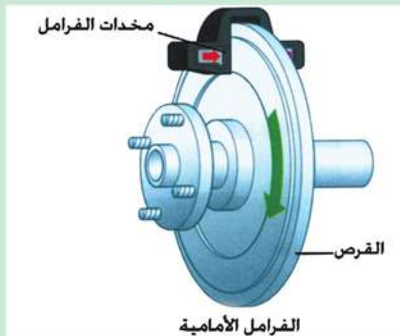
معلومة إثرائية

تطبيقات على قاعدة باسكال

١- تستخدم الفرملة الهيدروليكية Hydraulic Brake للسيارة قاعدة باسكال، حيث يستخدم نظام الفرملة سائلاً وسيطاً Brake Fluid. وعند الضغط على دواسة الفرملة بقوة بسيطة ولمسافة كبيرة نسبيا، تنشأ قوة كبيرة على المكبس فى اسطوانة الفرملة العمومية Master Brake Cylinder. وينتقل هذا الضغط إلى السائل، ومن ثم إلى باقى خط الفرملة، ثم إلى مكابس اسطوانات فرملة العجل Wheel Cylinder إلى الخارج، ومن ثم على حذاء الفرملة Brake Shoes، ثم إلى جسم الفرملة Brake Drum. فتنشأ قوة احتكاك كبيرة توقف العجلة وبالتالى السيارة، ويسمى هذا النوع من الفرامل Drum Brake وهى الفرملة الخلفية (شكل ٤-١٦). أما فى حالة الفرملة الأماميةوالتى تستخدم نظام القرص Disk Brake (شكل ٤-١٧) فإن القوى الناشئة عن الفرملة تضغط على مخدات الفرامل Brake Pads، وينشأ عن ذلك احتكاك يوقف العجلة. ويلاحظ أن المسافة التي يتحركها حذاء الفرملة فى الحالتين صغيرة لأن القوة كبيرة.



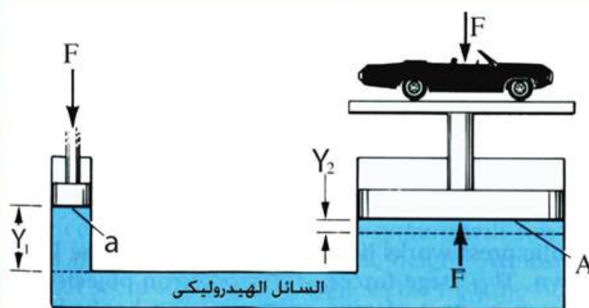
شكل (٤ -١٦)
الفرامل الخلفية



شكل (٤ -١٧)
الفرامل الأمامية

٢- فى تطبيق آخر لقاعدة باسكال يستخدم الرافعة الهيدروليكية Hydraulic Lift سائلاً لرفع السيارة فى محطات البنزين (شكل ٤-١٨).





شكل (٤ -١٨)
الرافعة الهيدروليكية

٣- الحفار الهيدروليكى Caterpillar يعتمد على قاعدة باسكال (شكل ٤-١٩)

٤- يلبس الغواص بدلة الغطس. وخوذة تحميه من الضغط فى الأعماق الكبيرة. وفي الأعماق القليلة يلجأ إلى نفخ الهواء في جيوبه الأنفية لمعادلة الضغط الخارجى (شكل ٤-٢٠). وفى الأعماق الكبيرة فإن بدلة الغطس تنفخ بالهواء وتحمى الخوذة رأس الغواص من الضغط الشديد (شكل ٤-٢١).



شكل (٤ -١٩)
الحفار الهيدروليكى


شكل (٤ -٢٠)
الغوص على أعماق قريبة من السطح


شكل (٤ -٢١)
الغوص على أعماق كبيرة (٥٠٠ متر)

مثال :

مكبس مائى مساحة مقطع مكبسه الصغير $10\ cm^2$ تؤثر عليه قوة $100\ N$ ومساحة مقطع مكبسه الكبير $800\ cm^2$ فإذا علمت أن عجلة الجاذبية الأرضية $10\ m/s^2$ احسب :

(أ) أكبر كتلة يمكن رفعها بواسطة المكبس الكبير.

(ب) الفائدة الآلية للمكبس.

(جـ) المسافة التى يتحركها المكبس الصغير ليتحرك المكبس الكبير بمقدار 1cm

الحل :

القوة المؤثرة على المكبس الكبير

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A}$$

$$F = \frac{100}{10} \times 800 = 8 \times 10^3\ N$$

(أ) أكبر كتلة يمكن رفعها بواسطة المكبس الكبير :

$$m = \frac{F}{g} = \frac{8 \times 10^3}{10} = 800 \text{ kg}$$

(ب) الفائدة الآلية للمكبس :

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} = \frac{800}{10} = 80$$

(جـ) المسافة التى يتحركها المكبس الصغير

$$fy_1 = F y_2$$

$$y_1 = \frac{8000 \times 1}{100} = 80 \text{ cm}$$

تلخيص

اولا : التعاريف والمفاهيم الأساسية :

- الكثافة (ρ) : هى كتلة وحدة الحجوم من المادة ووحدتها (kg/m^3).
- الضغط عند نقطة (P)

القوة المؤثرة عمـوديا على وحدة المســاحات المحيطة بتــلك النقـطة (N/m^2).

- جميع النقط التى فى مستوى أفقى واحد فى سائل ساكن يكون لها نفس الضغط.
- الضغط الجوى : هو الضغط الناشىء عن وزن عمود الهواء المؤثر على نقطة معينة عند سطح البحـر. وهو يكافىء الضغط الناشىء عن وزن عمود من الزئبق إرتفاعه حوالى 0.76 m ومساحة مقطعه واحد متر مربع عند درجة 0^oC .

وحداته باسكال (N/m^2) أو بار (Bar) $10^5 N/m^2$ أو mm Hg (Torr).

- المانومتر : جهاز يستخدم لقياس الفرق بين ضغط غاز محبوس فى إناء والضغط الجوى.
- قاعدة باسكال :

عندما يؤثر ضغط على سائل محبوس فإن الضغط ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل كما ينتقل إلى جدران الإناء المحتوى على السائل.

ثانيا : القوانين والعلاقات الهامة :

- الكثافة ρ = $\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$ $\qquad$ $\rho = \frac{m}{V_{ol}}$
- الضغط P = $\frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$ $\qquad$ $P = \frac{F}{A}$
- الضغط عند نقطة فى باطن سائل كثافته ρ معرض للهواء على عمق h من سطحه

$$P = P_a + \rho gh$$

حيث P_a الضغط الجوى، g عجلة الجاذبية الأرضية.

- إتزان السوائل فى انبوبة ذات شعبتين $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$

المكبس الهيدروليكى $\frac{f}{a} = \frac{F}{A}$

حيث f القوة المؤثرة على المكبس الصغير الذى مساحة مقطعة F , a القوة المؤثرة على المكبس الكبير الذى مساحة مقطعه A.

- الفائدة الآلية $\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a}$

- لتعيين المسافة التى يتحركها المكبس الكبير y_2 بدلالة المسافة التى يتحركها المكبس الصغير y_1 نستخدم العلاقة : $f\, y_1 = F\, y_2$

اسئلة وتماريـن

أولا : اختر الإجابة الصحيحة:

١- العوامل التالية تؤثر على الضغط الواقع على قاع إناء ماعدا :

(أ) عمق السائل فى الإناء (ب) كثافة السائل.

(جـ) عجلة الجاذبية الأرضية. (د) الضغط الجوى.

(هـ) مساحة قاعدة الإناء.

٢- أى العوامل الآتية لا تؤثر على ارتفاع عمود الزئبق فى البارومتر :

(أ) كثافة الزئبق. (ب) مساحة سطح الأنبوبة.

(جـ) الضغط الجوى. (د) عجلة الجاذبية الأرضية.

(هـ) درجة حرارة الزئبق.

٣- يعتمد ضغط المياه الموجود عند قاع بحيرة السد العالى المؤثر على جسم السد على :

(أ) مساحة سطح المياه. (ب) طول السد.

(جـ) عمق المياه. (د) سمك حائط السد.

(هـ) كثافة مادة الحائط.

٤- إذا كانت النسبة بين نصفى قطر المكبسين الأسطوانيين فى المكبس المائى هى 9:2 تكون النسبة بين القوتين على المكبسين تساوى

(أ) 9 : 2 (ب) 2 : 9

(جـ) 4 : 18 (د) 81 : 4

(هـ) 4 : 81

ثانيا : عرف كلا مما يأتى :

١- الكثافة. ٢- الضغط عند نقطة.

٣- قاعدة باسكال

ثالثا : أسئلة المقال :

١- اثبت أن الضغط P عند أى نقطة فى باطن سائل على عمق h يتعين من العلاقة

$$P = P_a + \rho gh$$

حيث P_a الضغط الجوى ، ρ كثافة السائل ، g عجلة الجاذبية الأرضية.

٢- صف المانومتر واشرح طريقة عمله فى قياس ضغط غاز فى مستودع.

٣- ما المقصود بقاعدة باسكال؟ اشرح أحد تطبيقاتها.

رابعاً : تمارين :

١- إذا كان الضغط على قاع إناء اسطوانى به زيت هو $15 \times 10^3\ N/m^2$ احسب القوة الكلية المؤثرة على قاعدة الإناء إذا كان قطر القاعدة 8 m $(7.54 \times 10^4\ N)$

٢- مطلوب لإطار سيارة فرق ضغط قدره $3.039 \times 10^5\ N/m^2$ فإذا كان الضغط الجوى $1.013 \times 10^5\ N/m^2$ فاوجد الضغط داخل إطار السيارة بوحدات الضغط الجوى

(4 Atm)

٣- قاعدة حوض أسماك مساحتها $1000\ cm^2$ وكان الحوض يحتوى على ماء وزنه 4000 N احسب ضغط الماء على قاع الحوض. $(4 \times 10^4\ N/m^2)$

٤- المكبسان الصغير والكبير فى مكبس هيدروليكى قطراهما 2 cm ، 24 cm على الترتيب تولدت قوة مقدارها 2000 N على المكبس الكبير. احسب القوة المؤثرة على المكبس الصغير، وكذلك الفائدة الآلية للمكبس. (13.9 N, 144)

٥- إذا كـان الضغـط الجوى عند سـطح مـاء فى بحيـرة هو 1Atm ، مـا عمق البحـيرة إذا كـان الضغط عند قاعها 3Atm ؟ علما بأن كثافة الماء $1000\ kg/m^3$ وأن الضغط الجوى يعادل $1.013 \times 10^5\ N/m^2$ وعجلة الجاذبية = $9.8\ m/s^2$ (20.673 m)

٦- يحمل رجل بارومتر زئبقى قراءته عند الطـابق الأرضـى 76 cmHg وعند الطابق العلوى 74.15 cmHg فإذا كان ارتفـاع المبنـى 200 m، فاحسب متـوسط كثـافة الهواء بين هذين الطابقين إذا علمت ان كثافة الزئبق $13600\ kg/m^3$ علما بأن عجلة الجاذبية $9.8 m/s^2$

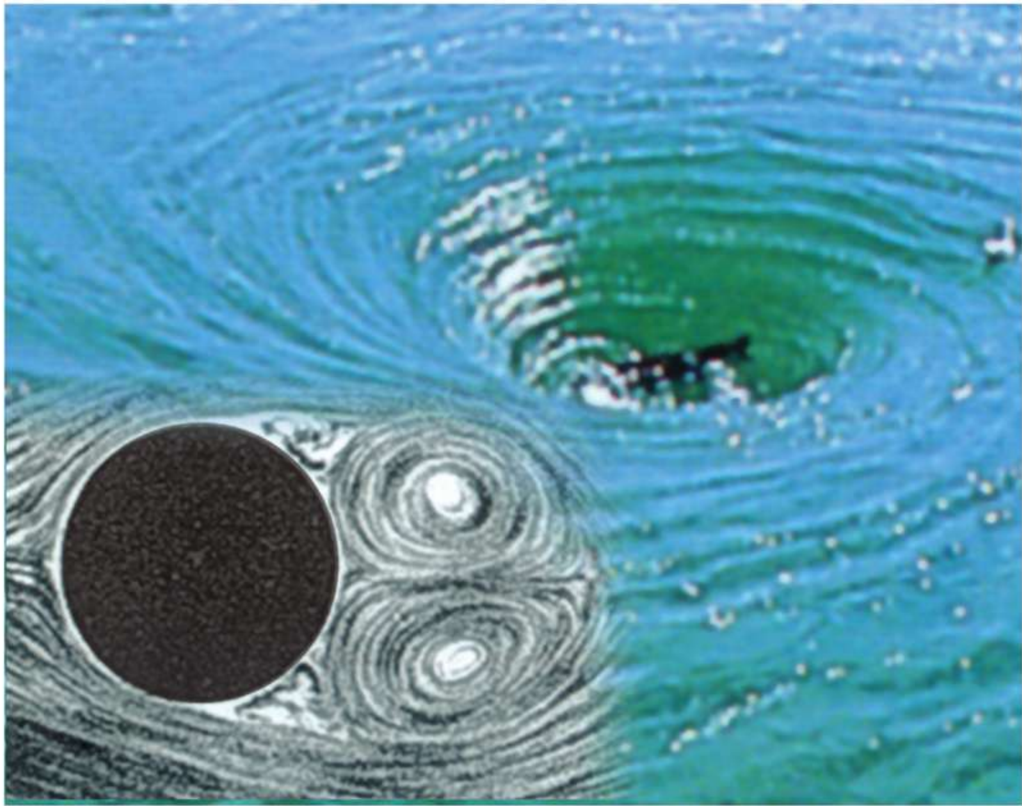
$(1.258\ kg/m^3)$

٧- مـانومـتـر يحتوى على زئبق يتـصل بمسـتودع به غـاز محـبوس. فـإذا كـان فـرق الارتـفـاع بين سطحى الـزئبق فى الفـرعـين 25 cm فـاحـسب فـرق الضغط وكـذلك الضـغط المطلق للهواء المحبوس مقدراً بوحدة N/m^2، علما بأن الضغط الجوى يعادل $1.013 \times 10^5\ N/m^2$ وعجلة الجاذبية الأرضية = $9.8\ m/s^2$ وكثافة الزئبق = $13600\ kg/m^3$

$(0.3332 \times 10^5\ N/m^2, 1.3462 \times 10^5\ N/m^2)$

الوحدة الثانية

خواص الموائع



الفصل الرابع : خواص الموائع المتحركة

الفصل الرابع

خواص المـوائع المتحـركة

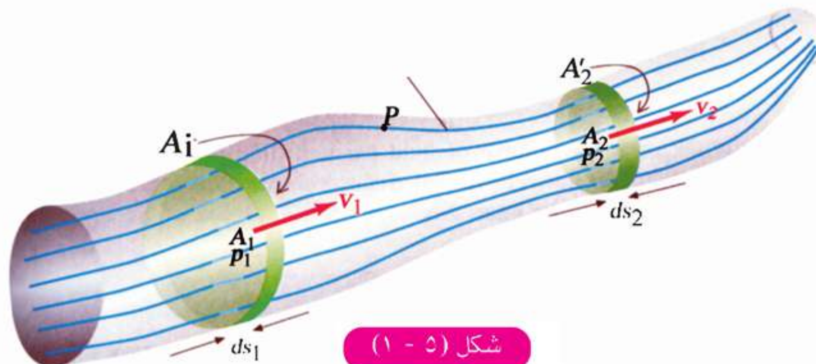
مقدمة :

نتحول الآن من دراسة الموائع الساكنة إلى دراسة الموائع المتحركة Hydrodynamics.

ينبغى أن نميز بين نوعين من سريان الموائع، السريان الهادى، والسريان المضطرب.

السريان الهادىء Steady Flow :

عندما يتحرك سائل ما بحيث تنزلق طبقاته المتجاورة فى نعومة ويسر يقال إن السائل يسرى سريانا طبقيا أو سريانا إنسيابيا. والسريان الطبقى Laminar Flow أو (الانسيابى) يسمى السريان الهادىء Streamline Flow أو المستقر Steady Flow، ويتميز هذا النوع من الانسياب بأن كل كمية صغيرة من السائل تتبع أو تتخذ مساراً متصلا يسمى خط الانسياب Streamline، وعلى هذا الاساس يمكننا تصور سريان السائل فى أنبوبة حقيقية أو افتراضية برسم مجموعة من خطوط الانسياب Streamlines، وذلك بتتبع مسارات أجزاء السائل المختلفة كما فى الشكل (٥-١). وأهم ما يميز خطوط الانسياب أنها لا تتقاطع، كما أن المماس لأى نقطة على خط الانسياب يحدد اتجاه السرعة اللحظية لكل كمية صغيرة من السائل عند تلك النقطة. ويحدد عدد خطوط الانسياب التى تمر عموديا بوحدة المساحات عند نقطة معينة (كثافة خطوط الانسياب) سرعة سريان السائل عند تلك النقطة. ولهذا تتزاحم خطوط الانسياب فى السرعات الكبيرة وتتباعد فى السرعات المنخفضة.



شكل (٥ - ١)

خطوط الانسياب Streamlines

شروط السريان الهادئ :

١- أن يكون معدل سريان السائل ثابتاً على طول مساره لأن السائل غير قابل للانضغاط وكثافة السائل لا تتغير مع المسافة أو الزمن.

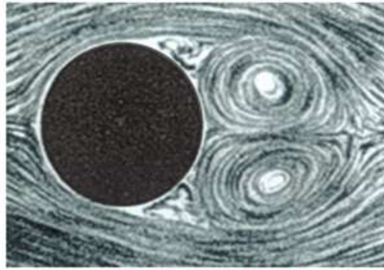
٢- فى السريان الهادئ Steady Flow لا تتوقف سرعة السائل عند كل نقطة على الزمن.

٣- السريان غير دوار Irrotational أى أنه لا توجد دوامات Vortex Flow.

٤- لا توجد قوى احتكاك بين طبقات السائل Nonviscous.

السريان المضطرب :

وإذا زادت سرعة إنسياب السائل عن حد معين يتحول السريان الهادئ إلى سريان مضطرب Turbulent Flow يتميز بوجود دوامات صغيرة دائرية Vortices (شكل ٥-٢). ويحدث نفس الشيء بالنسبة للغازات أيضا. كذلك فإنه نتيجة انتشار الغاز من حيز صغير إلى حيز كبير أو من ضغط عال إلى ضغط أقل فإنه يتحرك حركة دوامية (شكل ٥-٣).



شكل (٥ - ٢)
الدوامات نتيجة تدفق السائل بعنف أو حركة جسم فيه بسرعة



شكل (٥ - ٣)
يتحول الدخان من حركة إنسيابية إلى حركة مضطربة

معدل السريان ومعادلة الاستمرارية :

سنقتصر هنا على دراسة السريان الهادىء الذى يمكن وصفه كما يلى:

نتصور أنبوبة سريان Flow Tube بحيث:

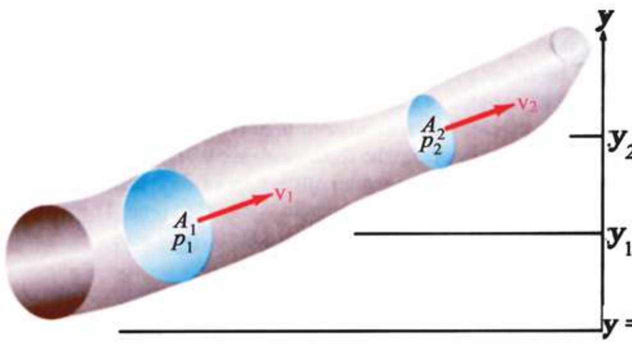
١- يملأ السائل الأنبوبة تماما.

٢- تكون كمية السائل التى تدخل إلى الأنبوبة عند أحد طرفيها مساوية لكمية السائل التى تخرج منها عند الطرف الآخر فى نفس الزمن، نظراً لأن السائل غير قابل للإنضغاط.

٣- لا تتغير سرعة سريان السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة مع الزمن. وتوجد علاقة تربط معدل سريان السائل بسرعته ومساحة مقطع الأنبوبة، وتسمى هذه العلاقة معادلة الاستمرارية Continuity Equation.

ولإدراك ما نعنيه بمعادلة الاستمرارية، نختار مستويين عموديين على خطوط الانسياب عند مقطعين كما فى شكل (٥-٤)، مساحة مقطع المستوى الأول A_1 ومساحة مقطع المستوى الثانى A_2، ويكون حجم السائل المنساب خلال المساحة A_1 فى وحدة الزمن (معدل الانسياب الحجمى) هو

$Q_v = A_1v_1$ حيث v_1 سرعة السائل عند المقطع A_1. كما يكون كتلة السائل المنساب فى وحدة الزمن والذى كثافته ρ (أى معدل الانسياب الكتلى) هو $Q_m = \rho Q_v = \rho A_1 v_1$. وبالمثل يكون معدل الانسياب الكتلى خلال المساحة A_2 هو $\rho Q_v = \rho A_2 v_2$ ونظرا لأن معدل الانسياب الكتلى ثابت فى حالة السريان الهادىء فإن:



شكل (٥ - ٤)
نموذج لاستنتاج معادلة الاستمرارية

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \qquad (5\text{-}1)$$

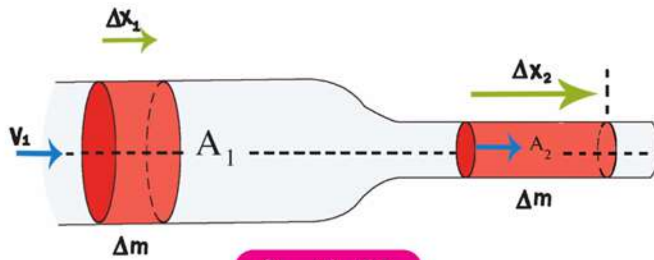
$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

وهذه هى معادلة الاستمرارية، اى ان

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} \qquad (5\text{-}2)$$

ومن هذه العلاقة نتبين أن سرعة السائل عند اى نقطة فى الأنبوبة تتناسب عكسيا مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة، فالسائل ينساب ببطء شديد فى الأنبوبة عندما تكون مساحة مقطعها كبيرة A_1، وينساب بسرعة أكبر عندما تكون مساحة مقطعها صغيرة A_2 (شكل ٥-٥).

ولفهم معادلة الاستمرارية اكثر نتصور سائلاً ونعتبر كتلة صغيرة منه Δm، هذه الكتلة هى $\Delta m = \rho \Delta V_{ol}$ حيث $\Delta V_{ol} = A_1 \Delta x_1$ بينما Δx_1 هى المسافة التى يتحركها السائل فى زمن Δt اى $\Delta x_1 = v_1 \Delta t$، وبذلك يكون $\Delta V_{ol} = A_1 v_1 \Delta t$، نفس هذا الحجم



شكل (٥ - ٥)
أساس معادلة الاستمرارية

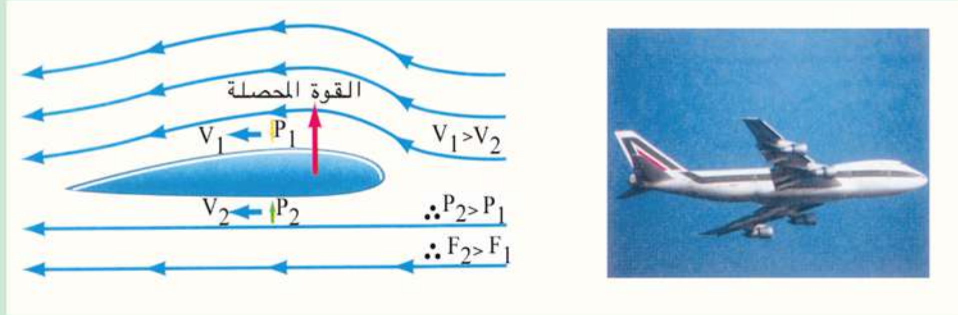
لابد أن ينتقل فى الجانب الآخر من الأنبوبة لأن السائل غير قابل للانضغاط أى أن $\Delta V_{ol} = A_2 v_2 \Delta t$ ، ومن ثم ينبغى التأكيد هنا على أن معدل الانسياب للسائل هو معدل إنسياب حجمى Q_v ووحدته (m^3/s) أو معدل انسياب كتلى Q_m ووحدته (kg/s) وكلاهما مقدار ثابت لأى مساحة مقطع.

وهذا يسمى قانون بقاء الكتلة Conservation of Mass والذى يؤدى إلى معادلة الاستمرارية.

معلومة إثرائية

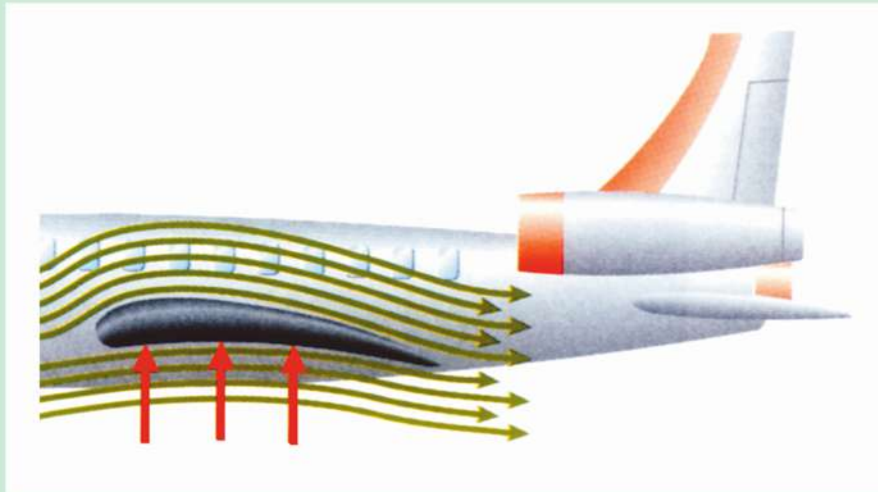
لماذا تطير الطائرة ولا تسقط؟

حـركـة الطائـرة تؤدى إلى تكون منطقـة فـوق الجناحين يكون فـيـهـا الضـغـط أقل مما هو تحت الجناحين، فـتنشـأ قـوة دفع لأعلي تتـزن مع وزن الطائرة (شكل ٥-٧). وهذه الظاهرة تسمى ظاهرة برنولى Bernoulli's Effect.



أ) الطائرة تطير ولا تسقط

ب) توجد منطقة خلخلة فى الضغط فوق الجناح



ج) القوة الناتجة عن فرق الضغط تدفع الطائرة لأعلى

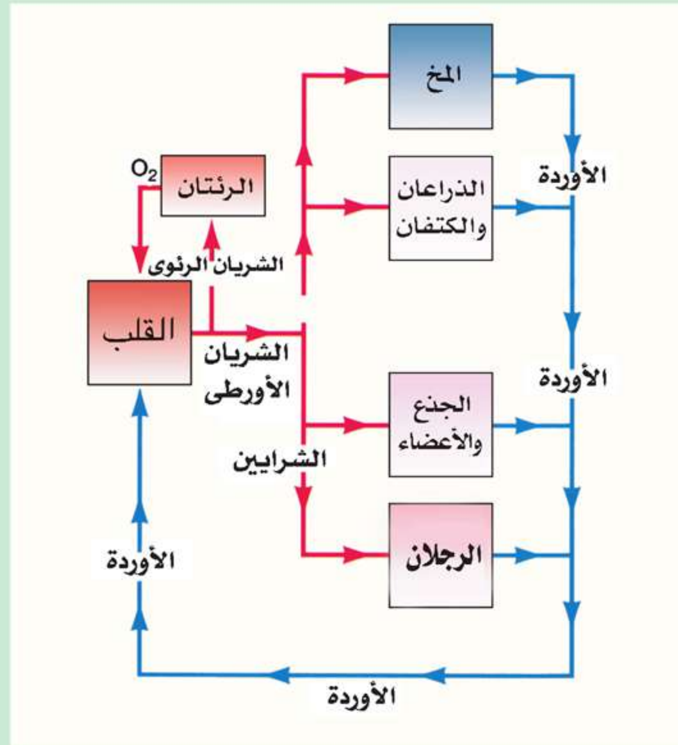
(شكل ٥-٧)

كيف تطير الطائرة

معلومة إثرائية

توزيع الدم فى جسم الإنسان

يتكون النظام الدورى Circulatory System من شـبكة هائلة من الأوعـيـة الدمـوية المختلفة، مثل الشرايين والأوردة إلى الشعيرات الدقيقة (شكل ٥-٨). ويضخ القلب الدم فى هذه الشبكة، فهو يضخ 5 لتر فى الدقيقة أو $8.33 \times 10^{-5} m^3/s$ بمعدل 70 نبضة فى الدقيقة فى الوضع المعتاد، وقد يصل معدل الضخ إلى 25 لتر فى الدقيقة (أومعدل 180 نبضة فى الدقيقـة) مع النشـاط الزائد. وبحسـاب سـرعـة تدفق الدم فى الأورطى Aorta والذى يبلغ قطره 2cm فإننا نجد سرعة الدم 26.5 cm/s (احسب بنفسك). وإذا جمعنا كل الشعيرات Capillaries فإن مساحة مقطعها مجتمعة يساوى $0.25\ m^2$ (فماذا تكون السرعة؟).



(شكل ٥-٨)
تبسيط الدورة الدموية

معلومة إثرائية

مرض تصلب الشرايين

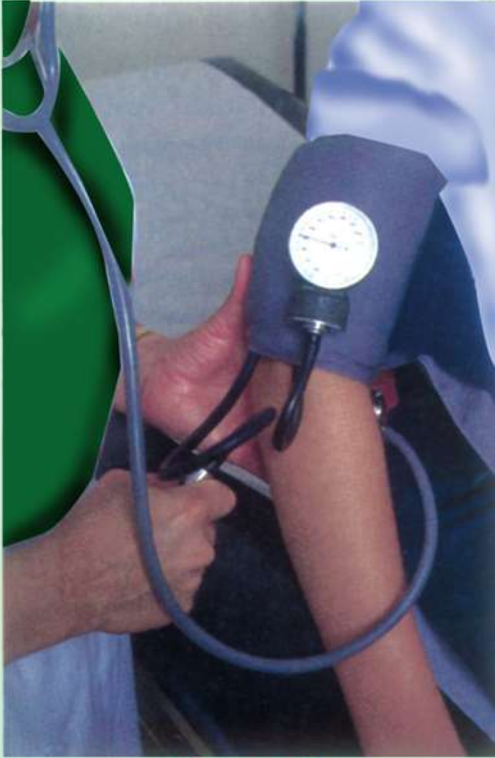
يتحكم الجسم فى سريان الدم فى الشرايين بواسطة عضلات تحيط بهذه الشرايين. عندما تنقبض Contract العضلات فإن قطر الشرايين يقل. ومن معادلة الاستمرارية (1-5)، فإن سرعة الدم لابد أن تزيد في الشريان نتيجة ذلك. والعكس عندما تنبسط Relax العضلات، فإن سرعة الدم تقل. مع تقدم العمر تفقد عضلة الشريان هذه المرونة وهذا ما يسمي تصلب الشرايين Hardening of the Arteries، ويقل بالتالى التحكم في سريان الدم. ومع ازدياد ترسب الدهون على جدران الأوعية الدموية يقل قطر هذه الأوعية مما يزيد من احتمالية تجلط الدم وتكوين جلطة تسد مجرى الدم، وقد يؤدى إلى الذبحة الصدرية Angina. وعادة يأخذ المريض أدوية لإسالة الدم لمنعه من التجلط، إلا إنه إذا زادت جرعة هذه الأدوية فقد تؤدى إلى نزيف. وتوجد ضمن مكونات الدم الصفائح Platelettes والتى تساعد على التجلط. وهكذا تلعب لزوجة الدم وما به من مكونات دوراً هاما فى حياة الإنسان .

معلومة إثرائية

قياس ضغط الدم

يعتبر قياس ضغط الدم من الوسائل التى تقيس سلامة عمل القلب. وجهاز قياس ضغط الدم Sphygmomanometer هو نوع من أنواع المانومتر (شكل ٥-٩)، يتكون من رباط Cuff على شكل كيس هواء Air Bag يلف حول ذراع المريض. تستخدم طلمبة يدوية Hand Pump لنفخ الكيس. ويقاس الضغط في الكيس باستخدام مانومتر زئبقى. يزاد الضغط في الكيس الهوائي حتي يتوقف سريان الدم لحظيا في الشريان العضدى Brachial Artery. وتستخدم سماعة الطبيب Stethoscope للاستدلال على قوة عضلة الشريان فى دفع الدم. بخفض ضغط الكيس تدريجيا وعندما يقل الضغط في الكيس إلى درجة كافية يكون الضغط الذي يمارسه القلب كافيا ليدفع الدم ويفتح الشريان العضدى فيندفع الدم فيه. اندفاع الدم فى الشريان المنغلق وقت

انفتاحه تدريجيا يحدث سريانا مضطربا Turbulent Flow مما يسبب صوتا يستطيع الطبيب أن يسمعه بالسماعة، وهو يراقب فى نفس الوقت قراءة الضغط على المانومتر معبرا عنها بدلالة الضغط mmHg. وهذا الضغط يسمي الضغط الانقباضى Systolic Pressure، وهو فى الإنسان السليم 120mmHg، وبينما يقل الضغط فى الكيس الهوائى يظل الصوت مسموعا فى السماعة إلى أن يتساوى اقل ضغط للقلب (الضغط الانبساطى Diastolic Pressure) مع الضغط فى الكيس الهوائى. عندئذ فإن الشريان العضدى يكون قد فتح بالكامل، وينساب الدم فى سريان هادىء، ويختفى الصوت. يقرأ الضغط حينئذ علي المانومتر، وهو الضغط الذى يكون فيه القلب في وضع استرخاء (Relaxation) Rest. وقيمة هذا الضغط حوالى 80mmHg، وإذا كان الضغط الانقباضى اكبر من 150mmHg فإن المريض يعانى ضغطا مرتفعا Hypertension. وقد يسبب ذلك حدوث قطع فى شرايين المخ مما يؤدى إلى السكتة الدماغية Stroke.



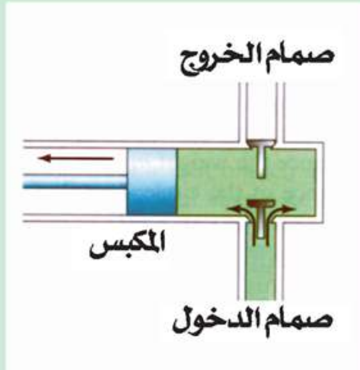
(شكل ٥-٩)

قياس ضغط الدم

أما إذا زاد الضغط الانبساطى عن 90mmHg فإن ذلك علامة أيضاً على ضغط الدم المرتفع. وهذا النوع من الضغط يسبب تلفا فى القلب ذاته لأنه يمثل عبئا على القلب فى الوقت الذى يكون فيه القلب -مفترضاً- فى حالة استرخاء.

معلومة إثرائية

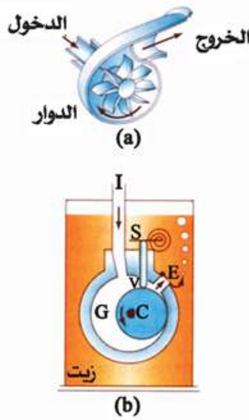
المضخات Pumps



شكل (٥ - ١٠)

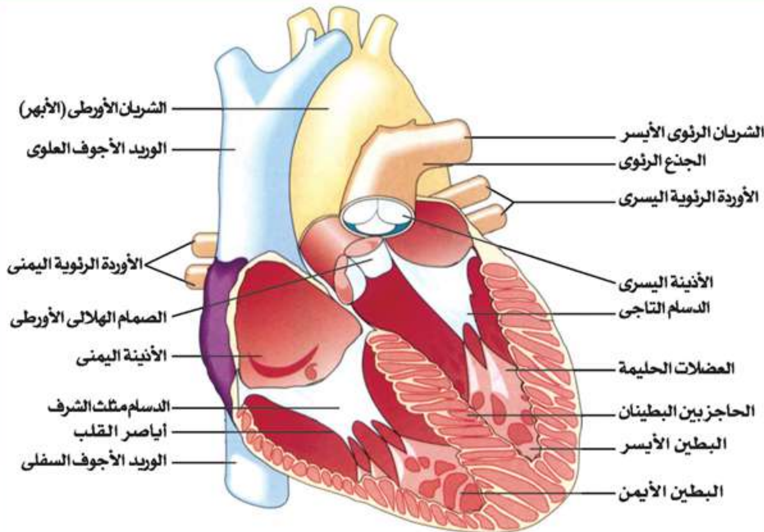
المضخة الترددية

يمكن تقسيم المضخات حسب وظيفتها. مضخة تفريغ الهواء Vacuum Pump تقلل ضغط الهواء في إناء ما معزول بحلقة مطاطية O-ring أو Oil Seal. المضخة الدافعة Force Pump تزيد الضغط لترفع سائلاً مثل الماء من البئر، أو لدفع سائل في أنبوبة ما. وفي المضخة الترددية Reciprocating Pump يتحرك المكبس Piston إلي اليسار (شكل ٥-١٠)، فيفتح صمام الدخول In take valve ، فيملأ الهواء أو السائل الفراغ خلف المكبس، وعندما يملأ هذا الفراغ، يدفع المكبس الهواء أو السائل للخروج من الصمام Outlet Valve، فيندفع الهواء أو السائل إلى الخارج. ويعتبر القلب مثالا على ذلك (شكل ٥-١١). كما يوجد نوع من المضخات يسمى المضخات الدوارة Circulating Pump (شكل ٥-١٢)، وهى تدفع الهواء أو السائل فى دائرة، مثل دائرة تبريد الماء أو الزيت فى السيارة، وتسمى أيضا مضخة طاردة Centrifugal Pump، حيث تدور الريش Blades، فتطرد السائل أو الهواء إلى الخارج ومثال ذلك المكنسة الكهربية Vacuum Cleaner.



شكل (٥ - ١٢)

مضخة دوارة



شكل (٥ - ١١)

القلب مضخة

أمثلة :

١- تدخل أنبوبة مياه قطرها 2 cm منزلا وسرعة سريان الماء بها 0.1 m/s ، ثم يصبح قطرها 1 cm احسب :

(أ) سرعة الماء فى الجزء الضيق.

(ب) كمية الماء (حجمه وكتلته) التى تنساب كل دقيقة خلال أى مقطع من مقاطع الأنبوبة (إذا كانت كثافة الماء = $1000\ kg/m^3$)

الحل :

(أ) نعلم أن $A_1 v_1 = A_2 v_2$

$$\pi (0.01m)^2 (0.1\ m/s) = \pi (0.005m)^2 v_2$$

$$v_2 = \frac{\pi \times 10^{-4} \times 0.1}{\pi \times 2.5 \times 10^{-5}} = 0.4m/s$$

(ب) معدل الحجم المنساب يتعين من العلاقة :

$$Q_V = A_1 v_1 \text{ أو } A_2 v_2$$

$$= \pi \times 10^{-4} \times 0.1 \text{ أو } \pi \times 2.5 \times 10^{-5} \times 0.4$$

$$= 3.14 \times 10^{-5} m^3/s$$

وبذلك يكون الحجم المنساب فى دقيقة هو :

$$V'_{ol} = Q_V \times 60 = 3.14 \times 10^{-5} \times 60 = 188.4 \times 10^{-5}\ m^3/min$$

معدل الكتلة المنسابة (كثافة الماء = $1000\ kg/m^3$)

$$\rho Q_V = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2$$

$$= 3.14 \times 10^{-5} \times 10^3 = 3.14 \times 10^{-2}\ kg/s$$

الكتلة المنسابة فى دقيقة :

$$M' = 3.14 \times 10^{-5} \times 10^3 \times 60 = 1.884\ kg/min$$

٢- تكون السرعة المتوسطة لتدفق الدم فى الأورطى لشخص بالغ نصف قطره = 0.7 cm هى 0.33 m/s، ومن الأورطى يتوزع الدم على عدد من الشرايين الرئيسية (نصف قطر كل منها 0.35 cm) فإذا كان عدد الشرايين الرئيسية 30 فاحسب سرعة الدم فيها.

الحل :

مساحة مقطع الأورطى $A_1 = \pi r_1^2 = \pi (0.007)^2 \ m^2$

مساحة مقطع الشرايين الرئيسية الثلاثين $A_2 = \pi r_2^2 \times 30$

$$= \pi (0.0035)^2 \times 30 \ m^2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\pi (0.007)^2 \ (0.33) = \pi \ (0.0035)^2 \ (30) \ v_2$$

$$v_2 = \frac{4 \times 0.33}{30} = 0.044 \ m/s$$

أى أن سرعة الدم فى الشرايين الرئيسية تساوى 0.044 m/s ، وبالتالى تكون سرعة الدم فى الشعيرات الدموية صغيرة جدا. الأمر الذى يتيح حدوث عمليات تبادل غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى الأنسجة، فضلا عن تزويدها بالمواد الغذائية. وهنا تتجلى قدرة الله الخالق. "سبحانه وتعالى عما يشركون" صدق الله العظيم.

اللزوجة Viscosity

يمكن إدراك معنى اللزوجة مما يلى :

١- نعلق قمعين متماثلين كلا فى حامل، ثم نضع أسفل كل منهما كأسا فارغة، نصب فى أحد القمعين حجما معينا من الكحول ونصب فى الآخر حجما مماثلا من الجليسرين ونلاحظ سرعة انسياب كل من السائلين.

نجد أن سرعة إنسياب الكحول أكبر من سرعة إنسياب الجليسرين، أو بعبارة أخرى، تكون قابلية الكحول للإنسياب أكبر من قابلية الجليسرين لذلك.

٢- نأخذ كأسين متماثلتين يحتوى إحداهما على حجم معين من الماء وتحتوى الأخرى على حجم مساو من العسل. نقلب السائل فى كل من الكأسين بساق من الزجاج. ونلاحظ فى أى السائلين تكون حركة الساق أسهل. ثم نخرج الساق من السائل ونلاحظ حركة كل من السائلين بعد إخراج الساق نجد أن :

أ- الساق تتحرك فى الماء بسهولة أكبر مما يدل على أن مقاومة الماء لحركة ساق الزجاج أقل من مقاومة العسل لها.

ب- حركة العسل تتوقف بعد إخراج الساق بفترة وجيزة فى حين تستمر حركة الماء فترة أكبر.

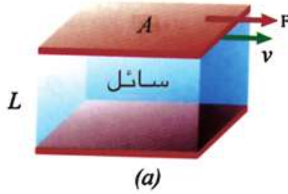
٣- نأخذ مخبارين متماثلين طويلين، ونملأ المخبار الأول حتى قرب فوهته بالماء، والثانى حتى قرب فوهته بالجليسرين، ثم نأخذ كرتين معدنيتين متماثلتين (من الصلب مثلا) ونلقى إحداهما برفق فى الماء، ونعين بواسطة ساعة إيقاف الزمن الذى تستغرقه الكرة لتصل إلى قاع المخبار. ونلقى الأخرى برفق فى الجليسرين، ونعين الزمن الذى تستغرقه لتصل إلى قاع المخبار.

نجد أن الزمن الذى تستغرقه الكرة لتصل الى قاع المخبار خلال الماء أقل من الزمن الذى تستغرقه كرة مماثلة لتصل الى قاع المخبار خلال الجليسرين، مما يدل على أن الجليسرين يقاوم حركة الكرة بمقدار أكبر من مقاومة الماء لها.

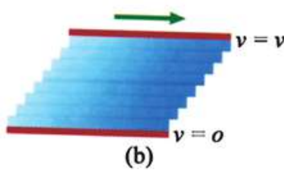
ومما سبق يمكن استخلاص ما يلى :

١- بعض السوائل كالماء، والكحول تكون قابليتها للإنسياب أو الحركة كبيرة فى حين أن مقاومتها لحركة الجسم فيها صغيرة وهى ذات لزوجة صغيرة.

٢- بعض السوائل كالعسل والجليسرين تكون قابليتها للإنسياب أو الحركة صغيرة فى حين أن مقاومتها لحركة الأجسام فيها كبيرة وهى ذات لزوجة عالية.



أ) قوة تؤثر على الطبقة العليا للسائل



ب) طبقات السائل تنزلق بالنسبة لبعضها

شكل (٥ - ٦)
الاحتكاك بين طبقات السائل

ولتفسير خاصية اللزوجة نتصور قطرة من السائل محصورة بين لوحين مستويين أحدهما ساكن أما الآخر فيتحرك بسرعة v (شكل ٥ - ٦). طبقة السائل الملامس للوح الساكن يكون ساكنا بينما يتحرك طبقة السائل الملامس للوح المتحرك بنفس سرعته وهى v، وتتحرك طبقات السائل بين اللوحين بسرعات تتراوح من الصفر إلى v

تتزايد من اللوح الساكن إلى اللوح المتحرك، حيث تكون سرعة كل طبقة أقل من سرعة الطبقة التى تعلوها، ويرجع هذا الإختلاف النسبى فى السرعة إلى ما يلى :

(أ) توجد قوى إحتكاك بين السطح المستوى للوح السفلى وطبقة السائل الملاصقة له. وتعزى هذه القوى الى التلاصق بين جزيئات سطح المستوى الصلب وجزيئات السائل المجاور لها مباشرة، فتمسك بها وتعوق إنسيابها، فتبدو هذه الطبقة ساكنة عديمة الحركة، ولنفس السبب تتحرك الطبقة العليا للسائل بنفس سرعة اللوح العلوى.

(ب) توجد قوى شبيهة بقوى الإحتكاك بين كل طبقة من طبقات السائل والطبقة التى تعلوها، فتعوق انزلاق بعضها فوق بعض، مما ينشأ عنه فرق نسبى فى السرعة بين كل طبقة والتى تعلوها، ويسمى هذا النوع من السريان السريان الطبقى Laminar Flow أو السريان اللزج Viscous Flow. واللزوجة هى تلك الخاصية التى تتسبب فى وجود مقاومة أو إحتكاك بين طبقات السائل بحيث تعوق انزلاق بعضها فوق بعض.

معامل اللزوجة

بالرجوع إلى الشكل (٥ - ٦) نجد أنه لكى يحتفظ اللوح المتحرك بسرعة ثابتة، فلابد من وجود قوة F. هذه القوة تتناسب طرديا مع كل من السرعة v ومساحة اللوح المتحرك A وتتناسب عكسيا مع المسافة الفاصلة بين اللوحين d

$$F \propto \frac{A v}{d}$$

وبالتالى يكون

$$F = \eta_{vs} \frac{Av}{d} \qquad (5 - 3)$$

حيث η_{vs} (إيتا) ثابت التناسب ويعرف بمعامل اللزوجة.

$$\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av} = \frac{F}{Av/d} \qquad (5 - 4)$$

ويمكن من هذه العلاقة تعريف معامل اللزوجة كما يلى :

معامل اللزوجة لسائل : هو القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات، ينتج عنها فرق فى السرعة مقداره وحدة السرعة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما وحدة المسافة.

ووحدته kg/ms أو $N\ s/m^2$

تطبيقات لخاصية اللزوجة :

للزوجة تطبيقات كثيرة منها :

أ- التزييت والتشحيم :

ينبغى تشحيم أو تزييت الآلات المعدنية من وقت لآخر حيث تؤدى عملية التشحيم إلى :

١- نقص كمية الحرارة المتولدة اثناء الإحتكاك.

٢- حماية أجزاء الآلة من التآكل.

وتتم عملية التزييت بإستخدام أنواع من الزيوت تتميز بلزوجتها الكبيرة، إذ أننا لو استخدمنا الماء فى عملية التزييت وهو من المواد ذات اللزوجة الصغيرة فإنه سرعان ما ينساب بعيدا عن أجزاء الآلة لضعف قوة التصاقه بها أثناء حركتها. لذلك كان من الطبيعى أن نستخدم سوائل تتميز بقدرتها على الإلتصاق بأجزاء الآلة وعدم انسيابها بسرعة رغم الحركة الدائبة لتلك الأجزاء، ومن هنا كانت ضرورة استخدام مواد ذات لزوجة كبيرة فى عملية التزييت.

(ب) المركبات المتحركة :

عندما تبلغ السيارة سرعتها القصوى فإن الشغل الكلى الذى تبذله الآلة والمستمد من الوقود المستهلك يعمل معظمه ضد مقاومة الهواء للسيارة أثناء حركتها خلاله وأيضا ضد قوة الإحتكاك بين اطارات السيارة و الأرض. وفى السرعات الصغيرة نسبيا أو المتوسطة فإن مقاومة الهواء للأجسام المتحركة فيه والناتجة عن لزوجة الهواء تتناسب طرديا مع سرعة الأجسام المتحركة خلاله، وعندما تزداد سرعة السيارة عن حد معين فإن مقاومة الهواء لا تتناسب مع سرعتها فقط وإنما مع مربع السرعة. ويعنى هذا أن استهلاك الوقود يزداد معدله مع زيادة السرعة عن هذا الحد المذكور، ولذلك يلجأ قائد السيارة الخبير إلى الحد من سرعتها لتوفير استهلاك الوقود.

(حـ) فى الطب :

لقياس سرعة ترسيب الدم

من المعلوم أنه عند سقوط كرة سقوط حر رأسيا فى سائل فإنها تتأثر بثلاث قوى وهى وزنها لأسفل وقوة دفع السائل لها لأعلى وقوة الإحتكاك بينها وبين السائل لأعلى نتيجه لزوجة السائل. وبحساب محصلة القوى وجد أنها تتحرك بسرعة نهائية تزداد بزيادة نصف قطرها.

ويمكن استخدام ذلك فى الطب بأخذ عينة من الدم وقياس سرعة ترسيبها. وبذلك يمكن للطبيب معرفة إذا كان حجم كرات الدم طبيعيا أم لا. فعلى سبيل المثال، فى حالة الإصابة بالحمى الروماتزمية فإنه يحدث زيادة فى سرعة ترسيب الدم. وذلك نتيجة لالتصاق كرات الدم

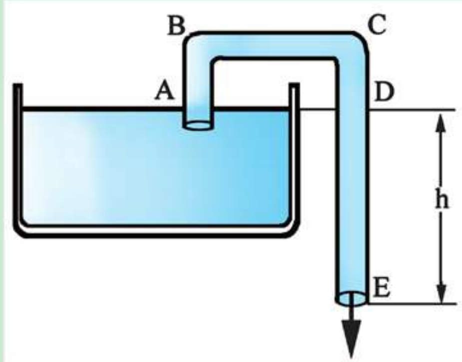
الحمراء، فيزداد حجمها ونصف قطرها، وبالتالى سرعة الترسيب. أما فى حالة الإصابة بالأنيميا فتقل سرعة الترسيب عن المعدل الطبيعى حيث إنه يحدث تكسير لكرات الدم الحمراء فيقل حجمها ونصف قطرها.

معلومة إثرائية

ظاهرة السايفون Syphon

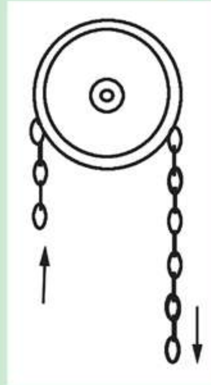
هل يمكن أن يصعد سائل لأعلى ؟

عن طريق شفط الهواء من خرطوم طرفه الآخر مغمور فى سائل يرتفع السائل مسافة رأسية ثم يتدفق إلي أسفل (شكل ٥ -١٣). ونلاحظ هذه الظاهرة حين نسحب البنزين من خزان السيارة باستخدام أنبوبة المطاطية للشفط فيصعد البنزين فى الأنبوبة المطاطية (لارتفاع معين). ثم يهبط إلى الخارج ويستمر التدفق رغم الجاذبية الأرضية وكذلك فى معامل الكيمياء باستخدام السحاحة لسحب سائل.



شكل (٥ - ١٣)
ظاهرة السايفون

وتسمي هذه الظاهرة السايفون Syphon، ويمكن تفسيرها بأن جزيئات السائل تتجاذب، فتشد بعضها بعضا كحبات مربوطة في سلسلة (شكل ٥ - ١٤)، بحيث يمكن أن تصعد الجزيئات لأعلى لمسافة معينة، متغلبة على قوة الجاذبية، ثم تعود فتهبط. ومن خواص السوائل أيضا الشد السطحى Surface Tension حيث تعمل جزيئات سطح السائل علي التجاذب، بحيث يشد بعضها بعضا كأنه غشاء متصل، وهو نفس نظرية تكوين فقاقيع الهواء والتي يمكن أن يتزن الضغط داخلها مع الضغط الخارجى والشد السطحى فلا تنفجر إلا إذا اختل هذا التوازن. ومن خواص السوائل أيضا خاصية الشعرية Capillarity، حيث تجذب جزيئات الإناء جزيئات السائل بقوى الالتصاق، فيتقوس سطح السائل بفعل الشد السطحى داخل الأنبوبة، وبهذه الخاصية يشد النبات الماء فى الأوعية الشعرية Capillaries، بحيث يستطيع النبات أن يمتص الغذاء (الماء بما فيه من عناصر مغذية) من التربة ويصل إلي الأوراق العلوية.


شكل (٥ - ١٤)
حبات السائل تشد بعضها بعضاً

تلخيص

● أولا : التعاريف والمفاهيم الأساسية :

● المائع : كل مادة قابلة للإنسياب ولا تتخذ شكلاً محددا بذاته.

● الانسياب المستقر فى الأنابيب يتطلب :

(أ) يملأ السائل الأنبوبة تماما.

(ب) تكون كمية السائل التى تدخل الأنبوبة عند أحد طرفيها مساوية لكمية السائل التى تخرج منها عند الطرف الآخر فى نفس الزمن.

● اللزوجة : هى الخاصية التى تتسبب فى وجود مقاومة أو احتكاك بين طبقات السائل تعوق انزلاق بعضها فوق البعض.

● معامل اللزوجة : هو القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات ينتج عنها فرق فى السرعة مقداره الوحدة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما الوحدة. وحدة معامل اللزوجة $kgm^{-1}s^{-1}$

● ثانيا : القوانين والعلاقات الهامة :

● حجم السائل المنساب بسرعة v خلال المساحة A فى وحدة الزمن $Q = Av$

● معادلة الاستمرارية هى : $A_1 v_1 = A_2 v_2$

● معامل اللزوجة لمائع (η_{vs}) يتعين من العلاقة. $\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av}$

حيث F القوة المماسية بين طبقتين من السائل A مساحة الطبقة المتحركة، v سرعة الطبقة المتحركة، d المسافة الفاصلة بين الطبقتين الساكنة والمتحركة.

اسئلة وتمارين

أولا : عرف كلاً مما يأتى :

١- المائع ٢- اللزوجة ٣- معامل اللزوجة

ثانيا : أسئلة المقال :

١- أثبت أن سرعة السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة تتناسب عكسيا مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة.

٢-اشرح ظاهرة اللزوجة.

٣- اشرح بعض التطبيقات لخاصية اللزوجة.

ثالثا التمارين :

١- يسرى ماء فى أنبوبة أفقية بمعدل ثابت $0.002\ m^3/s$ احسب سرعة الماء خلال الأنبوبة إذا كان مساحة مقطعها $1\ cm^2$ (20 m/s)

٢- يمر ماء خلال أنبوبة من المطاط قطرها 1.2 cm بسرعة 3 m/s احسب قطر فوهتها إذا كانت سرعة خروج الماء منها 27 m/s (0.4 cm)

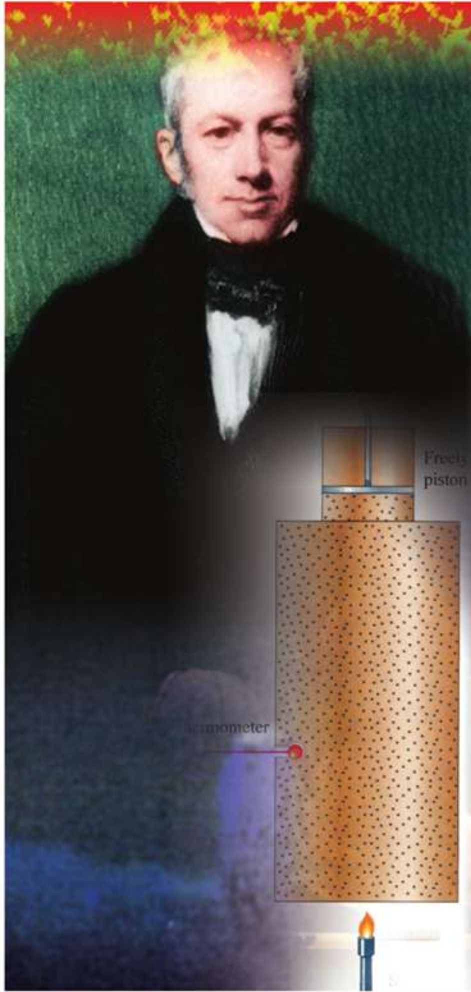
٣- شريان رئيسى يتشعب إلى 80 شعيرة نصف قطر كل منها 0.1mm فإذا كان نصف قطر الشريان 0.035 cm وسرعة سريان الدم به 0.044 m/s احسب سرعة تدفق الدم فى كل شعيرة دموية (0.0067 m/s)

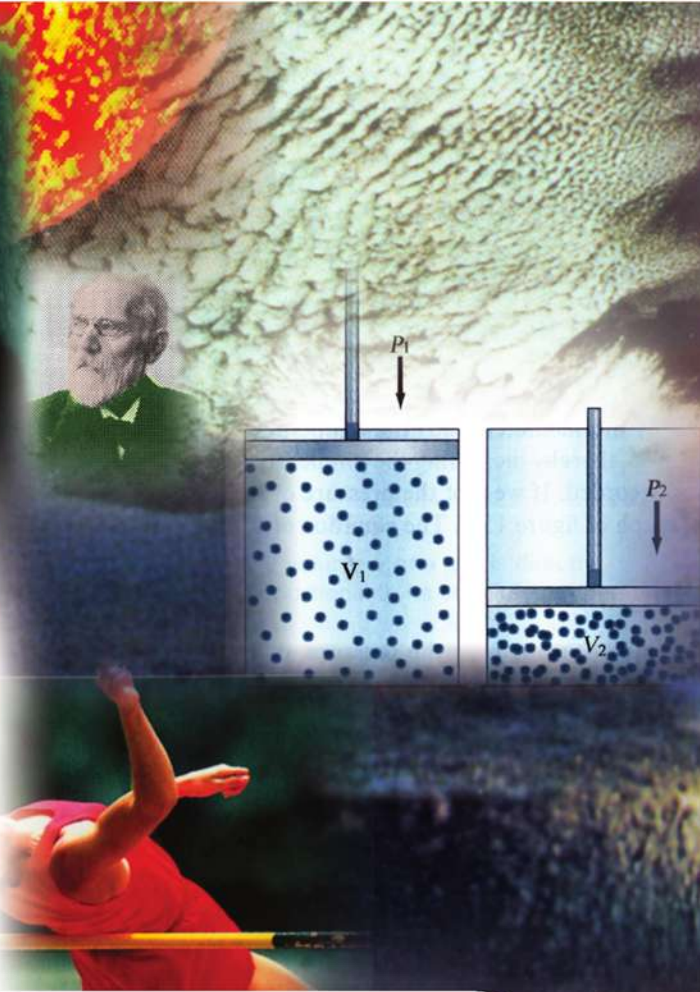
٤- مساحة مقطع أنبوبة عند نقطة مثل A تساوى $10\ cm^2$ وعند نقطة أخرى مثل B تساوى $2\ cm^2$ فإذا كانت سرعة الماء عند A تساوى 12 m/s احسب سرعته عند B (60 m/s)

٥- مساحة مقطع أنبوبة مياه تدخل الطابق الأرضى هى $4 \times 10^{-4}\ m^2$ ، وكانت سرعة الماء 2m/s عندما تضيق هذه الأنبوبة بحيث تصبح مساحة مقطعها فى النهاية $2 \times 10^{-4}\ m^2$ احسب سرعة إنسياب الماء فى الطابق العلوى. (4 m/s)

الوحدة الثالثة

الحرارة





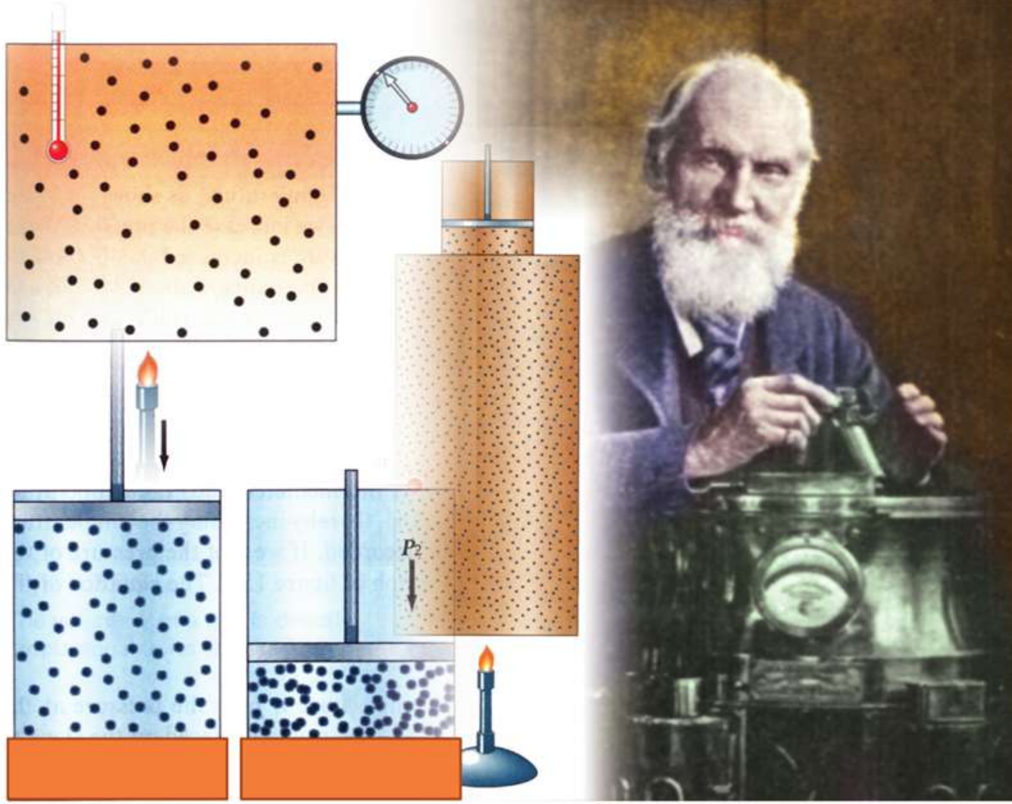


الفصل الخامس : قوانين الغازات



الحرارة

الوحدة الثالثة



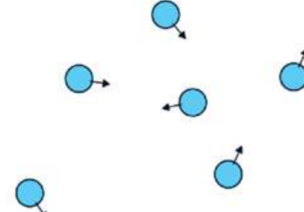
الفصل الخامس : قوانين الغازات

الفصل الخامس

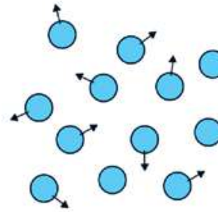
قــوانيــن الغـــازات

مقدمة:

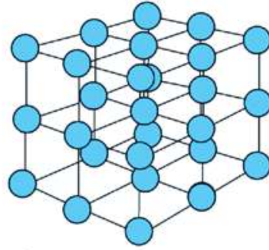
يمكن إدراك أن جزيئات الغاز فى حالة حركة عشوائية مستمرة من خلال دراسة الحركة البراونية كما يلى :



أ - جزيئات غاز تتحرك حركة انتقالية عشوائية



ب - جزيئات سائل تتحرك حركة انتقالية وتذبذبية



جـ - جزيئات جسم صلب تتحرك حركة تذبذبية فقط

شكل (٦-١)

الحركة البراونية

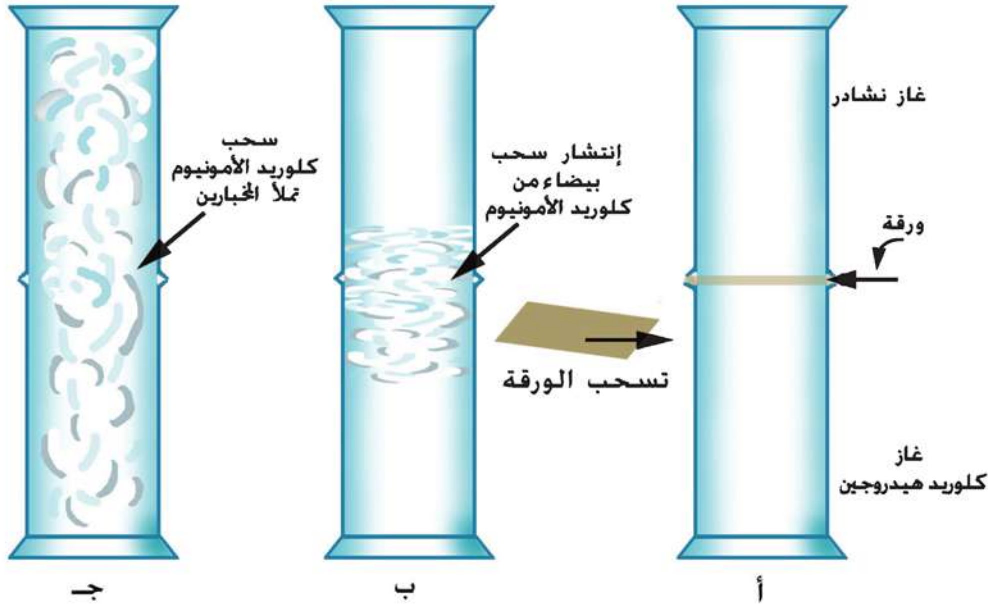
إذا فحصنا دخاناً متصاعداً من شمعة بواسطة الميكروسكوب لوجدنا دقائق الكربون المكونة للدخان تتحرك هنا وهناك حركات عشوائية، وحركة دقائق الكربون هذه تعرف بالحركة البراونية، إذ كان براون Brown (عالم نبات اسكتلندى) أول من اكتشف عام ١٨٢٧م أن حبوب اللقاح المعلقة فى الماء تكون دائماً فى حركة عشوائية .

تفسير الحركة البراونية :

تتحرك جزيئات الهواء (أو أى غاز) بسرعات مختلفة وفى جميع الاتجاهات بطريقة عشوائية. وأثناء حركتها تلك تصطدم مع بعضها البعض، كما تصطدم مع دقائق الكربون المكونة للدخان. وعندما يكون عدد التصادمات مع أحد جوانب دقيقة الكربون فى لحظة معينة أكبر من عدد التصادمات مع الجانب المقابل، فإن دقيقة الكربون سوف تتحرك فى اتجاه معين لمسافة قصيرة. والسبب فى ذلك أن جزيئات الغاز ـ بعكس المواد الصلبة ـ حرة الحركة، ودائمة التصادم، فتغير اتجاهها عشوائيا بفعل الحرارة (شكل ٦ - ١).

ويمكن أن نستخلص من ذلك ما يلى :

جزيئات الغاز فى حالة حركة عشوائية مستمرة، وأثناء حركتها تتصادم مع بعضها البعض كما تتصادم مع جدران الإناء الذى يحتويها.



شكل (٦-٢)

توضيح وجود المسافات البينية بين جزيئات الغاز

ويمكن إدراك وجود مسافات فاصلة بين جزيئات الغاز تعرف بالمسافات الجزيئية كما يلى :

إذا أخذنا مخباراً مليئاً بغاز النشادر ونكسناه فوق مخبار آخر ملىء بغاز كلوريد الهيدروجين (شكل ٦-٢)، عندئذ سنشاهد تكون سحابة بيضاء من كلوريد الأمونيوم تأخذ فى النمو والانتشار حتى تملأ كل حيز ا لمخبارين. يفسر ما حدث بأن جزيئات غاز كلوريد الهيدروچين - رغم كونه أكبر كثافة- تنتشر إلى أعلى متخللة مسافات فاصلة بين جزيئات غاز النشادر، حيث تتحد مع جزيئاته مكونة كلوريد الأمونيوم الذى تنتشر جزيئاته لتملأ ا لمخبار العلوى. كما تنتشر جزيئات النشادر- رغم كونه أقل كثافة - إلى

آسفل خلال المسافات الفاصلة بين جزيئات غاز كلوريد الهيدروجين، حيث تتحد مع جزيئاته مكونة كلوريد الأمونيوم الذى تنتشر جزيئاته لتملأ المخبار السفلى.

ومما سبق نستخلص أن جزيئات الغاز بينها مسافات فاصلة كبيرة نسبياً تعرف بالمسافات الجزيئية. ويؤكد هذا قابلية الغازات للإنضغاط، حيث تسمح المسافات الجزيئية الكبيرة نسبياً بتقارب جزيئات الغاز عند تعرضها للضغط، فيقل الحجم الذى يشغله الغاز.

قوانين الغازات :

أصبح من المؤكد أن التجارب التى تجرى لقياس التمدد الحرارى لغاز ما معقدة لأن حجم الغاز يمكن أن يتغير بتغير كل من الضغط أو درجة الحرارة أو كليهما. مثل هذه الصعوبة لا تظهر فى حالة الجوامد أو السوائل لأن قابليتها للإنضغاط صغيرة جداً ويمكن إهمالها.

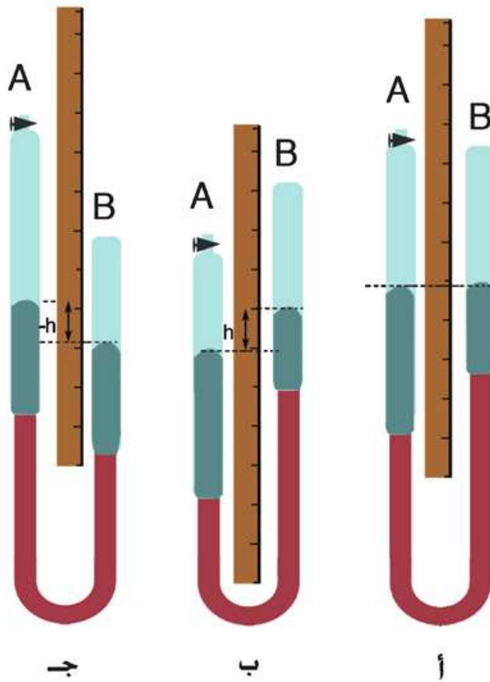
ولإجراء دراسة تامة حول سلوك غاز ما، ينبغى أن نأخذ فى الاعتبار وجود ثلاثة متغيرات هى الحجم والضغط ودرجة الحرارة. لذلك توجد ثلاث تجارب منفصلة، كل منها تستخدم لدراسة العلاقة بين متغيرين فقط مع تثبيت المتغير الثالث. هذه التجارب هى :

١- العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته (قانون بويل).

٢- العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه (قانون شارل).

٣- العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط أو قانون جولى).

وسنتناول فيما يلى دراسة كل من العلاقات الثلاث.



شكل (٦ - ٣)

جهاز بويل

أولا : العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته (قانون بويل)

لدراسة العلاقة بين حجم مقدار معين من غاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته، يستخدم الجهاز الموضح فى الشكل (٦ - ٣). ويتكون من أنبوبة زجاجية (A) تشبه سحاحة مقلوبة يبدأ تدريجها من أعلى . تتصل الأنبوبة (A) بأنبوبة أخرى (B) من الزجاج بواسطة أنبوبة من المطاط. وتحتوى الأنبوبتان على كمية مناسبة من الزئبق.

ويحمل الأنبوبتين قائم رأسى مثبت على قاعدة أفقية ترتكز على ثلاثة مسامير محواة يمكن بواسطتها جعل القائم رأسياً تماماً. والأنبوبة (B) قابلة للحركة على طول القائم الرأسى إلى أعلى أو إلى أسفل، ويمكن تثبيتها فى أى موضع.

ونتبع الخطوات الآتية :

١- نفتح صنبور الأنبوبة (A) مع تحريك الأنبوبة (B) إلى أعلى أو أسفل حتى يصبح سطح الزئبق فى الأنبوبة (A) عند منتصفها (شكل ٦-٣أ).

ونظرا لأن الأنبوبتين مفتوحتان يكون سطحاً الزئبق فيهما فى مستوى أفقى واحد.

٢- نغلق صنبور الأنبوبة (A) ونقيس حجم الهواء المحبوس وليكون $(V_{ol})_1$ وضغطه وليكن P_1 يساوى الضغط الجوى P_a cm Hg الذى نعينه بواسطة البارومتر.

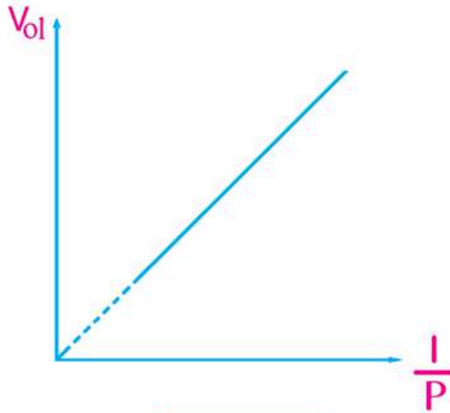
٣- نحرك الأنبوبة (B) إلى أعلى مسافة مناسبة (عدة سنتيمترات)، وعندئذ نقيس حجم الهواء المحبوس وليكن $(V_{ol})_2$ ، ونقيس فرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الأنبوبتين وليكن h. وعندئذ يكون ضغط الهواء المحبوس هو $P_2 = P_a + h$ (شكل ٦-٣ب).

٤- نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل بتحريك الأنبوبة (B) إلى أعلى مسافة مناسبة أخرى ونعين $(V_{ol})_3$, P_3 بنفس الكيفية.

٥- نحرك الأنبوبة (B) إلى أسفل حتى يصبح سطح الزئبق فى الأنبوبة (B) أقل من سطح الزئبق فى الأنبوبة (A) بعدة سنتميترات. وعندئذ نقيس حجم الهواء المحبوس وليكن $(V_{ol})_4$ وضغطه P_4 هو $P_4 = P_a - h$ ، حيث h هو فرق الإرتفاع بين سطحى الزئبق فى الأنبوبتين (شكل ٦-٣ حـ).

٦- نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل بتحريك الأنبوبة (B) إلى أسفل مسافة أخرى ونوجد $(V_{ol})_5$, P_5 بنفس الكيفية.

٧- نرسم علاقة بيانية بين حجم الغاز V_{ol} ممثلاً على المحور الرأسى ومقلوب الضغط ($\frac{1}{P}$) ممثلاً على المحور الأفقى. نحصل على خط مستقيم كما فى الشكل (٦ - ٤).



شكل (٦ - ٤)
العلاقة بين حجم الغاز ومقلوب الضغط

ومن هذه العلاقة البيانية نتبين أن :

$$V_{ol} \propto \frac{1}{P}$$

ومن هذه العلاقة يكون :

حجم مقدار معين من غاز يتناسب تناسباً عكسياً مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته. وهذا هو نص قانون بويل.

ويمكن صياغة قانون بويل بكيفية أخرى حيث يكون : $V_{ol} = \frac{const}{P}$ أى أن:

$$P\,V_{ol} = const \qquad (6 - 1)$$

عند ثبوت درجة الحرارة يكون حاصل الضرب PV_{ol} لكمية معينة من غاز مقداراً ثابتاً.

أثر الحرارة فى حجم الغاز عند ثبوت ضغطه :

نعلم أن الغازات تتمدد بالحرارة وتنكمش بالبرودة. ولكن هل تتمدد الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة وهى تحت ضغط ثابت بمقادير متساوية أم بمقادير مختلفة ؟



شكل (٦ - ٥)
أثر الحرارة فى حجم الغاز مع ثبوت ضغطه

لادراك ذلك نجرى التجربة الآتية :

١- نأخذ دورقين متساويين فى الحجم تماماً وفوهة كل منهما مسدودة بسداد تنفذ

منه أنبوبة زجاجية منثنية على شكل زاوية قائمة بها زئبق على شكل خيط طوله 2cm أو 3cm ، وليكن أحدهما مملوءاً بالأكسجين والآخر مملوءا بالهواء أو ثانى أكسيد الكربون. ثم اغمرهما فى حوض به ماء كما فى شكل (٦ - ٥).

٢- أضف إلى ماء الحوض قليلاً من الماء الساخن ولاحظ مقدار المسافة التى يتحركها خيط الزئبق فى كل منهما.

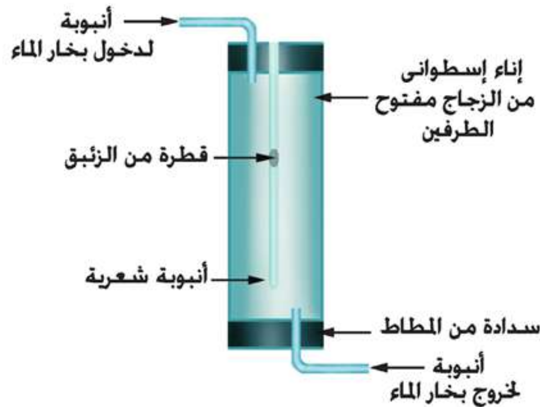
نلاحظ أن خيطى الزئبق يتحركان مسافتين متساويتين مما يدل على أن الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد بمقادير متساوية إذا ارتفعت درجة حرارتها بنفس المقدار مع ثبوت ضغطها. ومن ثم نتوقع أن يكون معامل التمدد الحجمى لها واحداً.

معامل التمدد لغاز تحت ضغط ثابت :

«هو مقدار الزيادة فى وحدة الحجوم من الغاز وهى فى درجة 0^oC إذا ارتفعت درجة حرارتها درجة واحدة مئوية مع بقاء ضغطها ثابتاً» ويرمز له بالرمز (α_V)

ثانيا: العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه (قانون شارل):

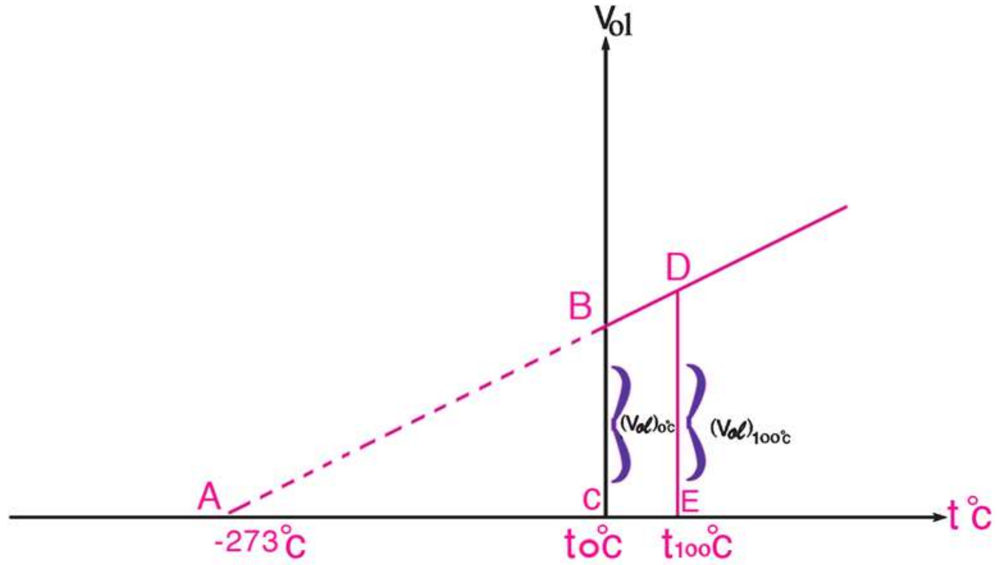
لدراسة العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه يستخدم جهاز شارل المبين بالشكل (٦-١٦أ)، ويتركب من أنبوبة زجاجية طولها 30 cm وقطرها حوالى 1mm مقفلة من أحد طرفيها. بها قطرة من الزئبق تحبس كمية من الهواء داخل الأنبوبة، والأنبوبة مثبتة مع ترمومتر على مسطرة مدرجة داخل إناء اسطوانى من الزجاج. وتتبع الخطوات الآتية:



شكل (٦ - ١٦أ)

جهاز شارل

١- يوضع الجهاز السابق داخل غلاف من الزجاج، ويملأ الغلاف بجليد مجروش آخذ فى الإنصهار. ويترك فترة مناسبة



شكل (٦ - ٦ب)

قانون شارل

علاقة الحجم بدرجة الحرارة عند ثبوت الضغط

حتى يبرد الهواء داخل الأنبوبة إلى $0^{o}C$.

٢- يقاس طول عمود الهواء المحبوس الذى يتخذ مقياساً لحجمه $(V_{ol})_{0^{\circ}C}$ نظراً لأن الأنبوبة منتظمة المقطع.

٣- يفرغ الغلاف من الجليد والماء، ثم يمرر بخار ماء فى الغلاف من أعلى إلى أسفل مع الانتظار مدة مناسبة حتى تصبح درجة حرارة الهواء المحبوس $100\ ^{\circ}C$ ، ويقاس طول عمود الهواء المحبوس، ويتخذ مقياساً لحجمه وليكن $(V_{ol})_{100^{\circ}C}$.

٤- ترسم علاقة بين الحجم V_{ol} ودرجة الحرارة (شكل ٦-٦ب)، نجد أن هذه العلاقة خط مستقيم. وإذا مددنا هذا الخط، فإنه يقطع المحور الأفقى عند قيمة $-273^{\circ}C$.

٥- يعين معامل التمدد الحجمى للهواء عند ثبوت ضغطه من العلاقة :

$$\alpha_V = \frac{(V_{ol})_{100^{\circ}C} - (V_{ol})_{0^{\circ}C}}{(V_{ol})_{0^{\circ}C} \times 100^{\circ}C} \qquad (6\text{-}2)$$

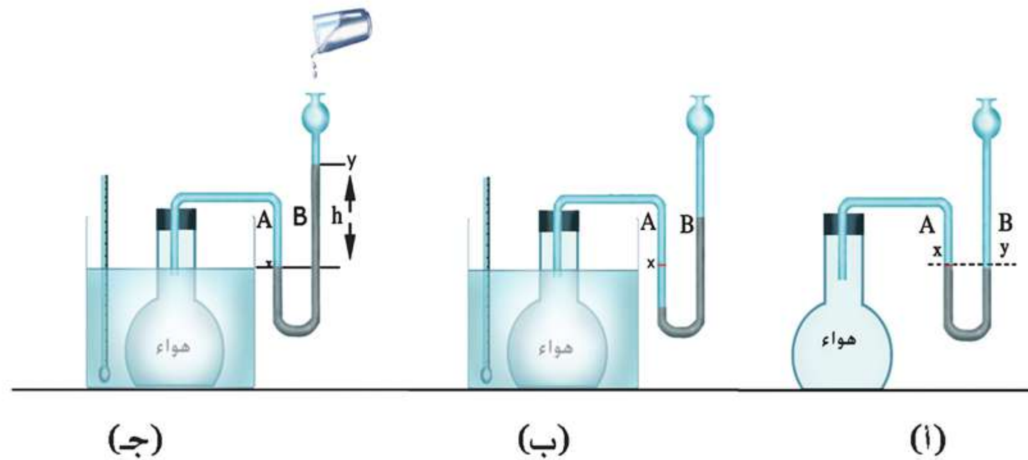
وقد وجد عملياً أن معامل التمدد الحجمى للهواء α_V يساوى $\frac{1}{273}$ لكل درجة. ونظراً لأن الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد تحت ضغط ثابت بمقادير متساوية يكون لمعامل التمدد الحجمى للغازات المختلفة نفس القيمة. هذه النتيجة صاغها شارل كما يلى :

قانون شارل

عند ثبوت الضغط يزداد حجم كمية من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمها الأصلى عند 0^oC لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره درجة واحدة ولا تختلف هذه القيمة من غاز لآخر.

أثر الحرارة فى ضغط الغاز عند ثبوت حجمه :

١- لدراسة تأثير الحرارة على ضغط غاز ما عند ثبوت حجمه، نأخذ دورقاً زجاجياً مسدوداً بسدادة تنفذ منها أنبوبة ذات شعبتين (A) ، (B) كالمبينة فى شكل (٦ - ٧). نلاحظ أن الأنبوبة تحتوى على كمية مناسبة من الزئبق يستقر سطحاه فى الشعبتين (A)، (B) فى مستوى أفقى واحد عند (X) ، (Y). لذلك يكون ضغط الهواء المحبوس فى الدورق مساوياً للضغط الجوى. ثم نعين درجة حرارة الهواء ولتكن $t_1{}^\circ C$ (شكل ٦-٧أ).



شكل (٦ - ٧)

أثر الحرارة على الضغط عند ثبوت الحجم

٢- نغمر الدورق فى حوض به ماء دافئ درجة حرارته $t_2\,^\circ C$. نلاحظ أن سطح الزئبق يبدأ فى الانخفاض فى الشعبة (A)، بينما يرتفع فى الشعبة (B) (شكل ٦-٧ب).

٣- نصب زئبقاً فى القمع حتى يعود سطح الزئبق فى الشعبة (A) إلى العلامة (X) حتى يتساوى حجم الهواء المحبوس فى الدورق وهو فى $(t_2\,^\circ C)$ مع حجمه وهو فى $(t_1\,^\circ C)$.

٤- نلاحظ أن سطح الزئبق فى الشعبة (B) يعلو عن سطحه فى (A) بمقدار معين وليكن h cm مما يدل على أن ضغط الهواء المحبوس قد إزداد نتيجة لارتفاع درجة الحرارة من $t_1\,^\circ C$ إلى $t_2\,^\circ C$ بمقدار يساوى h (cm Hg) (شكل ٦-٧حـ).

٥- وإذا أجرينا التجربة السابقة عدة مرات مع ملء الدورق بغاز مخالف فى كل مرة وتم تعيين مقدار الزيادة فى ضغط الغاز مع ثبوت حجمه بارتفاع درجة الحرارة لنفس المقدار فإننا نتبين ما يلى :

١- عند ثبوت حجم الغاز يزداد ضغطه بإرتفاع درجة الحرارة.

٢- عند ثبوت الحجم تزداد الضغوط المتساوية للغازات المختلفة بنفس المقدار إذا ارتفعت درجة حرارتها بمقادير متساوية.

معامل الزيادة فى الضغط: هو مقدار الزيادة فى وحدة الضغط المقاسة عند درجة $0^\circ C$ إذا رفعت درجة حرارتها درجة واحدة عند ثبوت الحجم.

ثالثا: العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط):

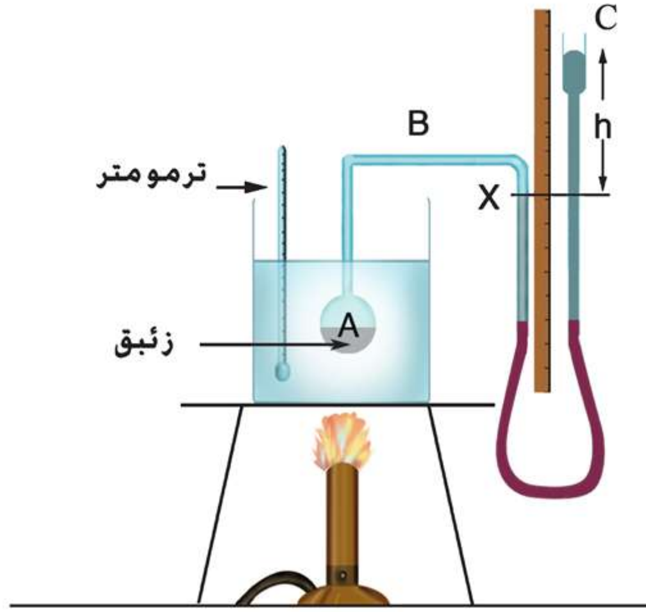
وجد عمليا أن الزيادة فى ضغط الغاز تتناسب طرديا مع الضغط الأصلى المقاس عند درجة $0^\circ C$ $(P_{0^\circ C})$، وكذلك مع الارتفاع فى درحة حرارته $(\Delta t^\circ C)$. ويعبر عن هذا كما يلى:

$$\Delta P \propto P_{0^\circ C}\,\Delta t\,^\circ C$$

$$\Delta P = \beta_P\,P_{0^\circ C}\,\Delta t\,^\circ C$$

$$\beta_P = \frac{\Delta P}{P_{0^\circ C}\,\Delta t^\circ C} \qquad (3\text{-}6)$$

حيث β_P مقدار ثابت وهو معامل زيادة ضغط الغاز مع درجة حرارته عند ثبوت حجمه.



شكل (٦ – ٨)

جهاز جولى

ولتعيين معامل زيادة ضغط الغاز عند ثبوت حجمه يستخدم جهاز جولى الموضح فى الشكل (٦- ٨)، ويتركب من مستودع كروى (A) من الزجاج رقيق الجدران، يتصل بأنبوبة شعرية (B) طويلة ومنثنية على شكل زاويتين قائمتين، وهو مثبت على لوحة رأسية مثبتة بدورها على قاعدة أفقية ترتكز على ثلاثة مسامير محواة. ويتصل طرف الأنبوبة الشعرية (B) بواسطة أنبوبة من المطاط بأنبوبة متسعة نوعا ما وهى الأنبوبة (C). والأنبوبة (C) قابلة للحركة إلى أعلى أو إلى أسفل على اللوحة الرأسية. وتوجد مسطرة مدرجة مثبتة على هذه اللوحة.

ونتبع خطوات العمل الآتية:

١- نعين الضغط الجوى وقت التجربة باستخدام البارومتر.

٢- ندخل فى المستودع (A) $\frac{1}{7}$ حجمه زئبقا ليظل حجم الجزء المتبقى منه ثابتا فى جميع درجات الحرارة (حيث أن معامل التمدد الحجمى للزئبق سبع أمثال معامل التمدد الحجمى للزجاج).

٣- نغمر المستودع (A) فى كأس به ماء ثم نصب زئبقا فى الفرع الخالص (C) حتى يرتفع سطحه فى الفرع الآخر إلى علامة معينة (X).

٤- نسخن الماء فى الكأس حتى يغلى وننتظر مدة مناسبة حتى تثبت درجة الحرارة ويقف انخفاض سطح الزئبق فى الفرع المتصل بالمستودع.

٥- نحرك الفرع الخالص (C) إلى أعلى حتى يرتفع سطح الزئبق فى الفرع الآخر إلى نفس العلامة (X). ثم نقيس الفرق فى الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الفرعين وليكن (h). ومن ذلك نحدد ضغط الهواء المحبوس وليكن (P)، وهو يساوى الضغط الجوى (cm Hg) مضافا إليه الفرق فى الارتفاع (h).

٦- نحرك الفرع (C) إلى أسفل ثم نوقف التسخين ونترك المستودع لتنخفض درجة حرارته إلى حوالى 90C° ، ثم نحرك الفرع (C) إلى أعلى حتى يرتفع سطح الزئبق فى الفرع المتصل بالمستودع إلى العلامة (X)، ثم نعين درجة الحرارة وفرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الفرعين. ومن ذلك نحسب ضغط الهواء المحبوس فى هذه الحالة.

٧- نكرر العمل السابق عدة مرات عند درجات حرارة مختلفة وفى كل مرة نحسب ضغط الهواء المحبوس بنفس الكيفية السابقة.

٨- نرسم علاقة بيانية بين درجات الحرارة ممثلة على المحور الأفقى والضغط ممثلا على المحور الرأسى. نجد أن العلاقة خط مستقيم ، ثم نحسب معامل الزيادة فى ضغط الغاز عند ثبوت حجمه من العلاقة:

$$\beta_P = \frac{P_{100°C} - P_{0°C}}{P_{0°C} \times 100} \qquad (6\text{-}4)$$

وقد وجد عمليا أن معامل زيادة ضغط الهــواء عنــد ثبوت حجمــه يساوى $\frac{1}{273}$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره درجة واحدة . ولقد وجد أن معامل زيادة ضغط الغازات المختلفة عند ثبوت حجومها يكون له نفس القيمة.

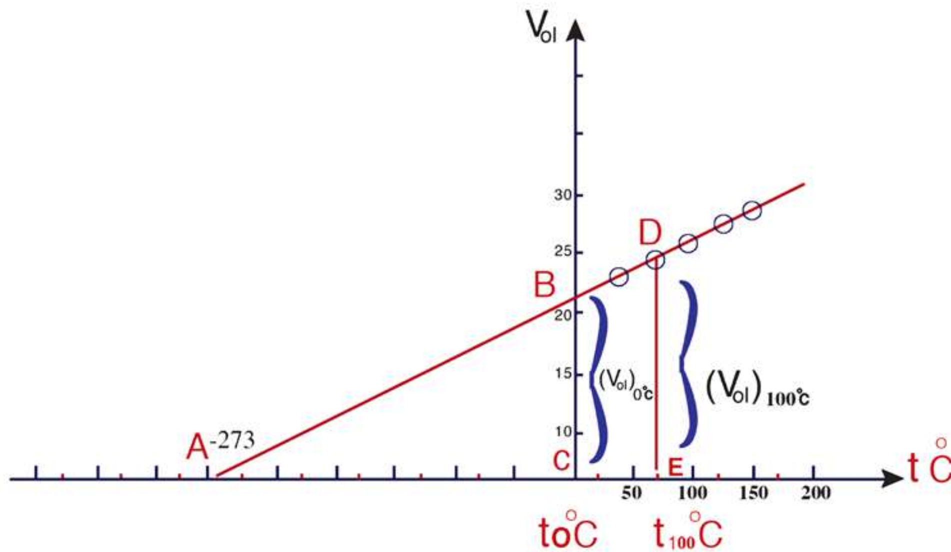
ويمكن من نتائج التجربة السابقة أن نتوصل إلى ما يلى:

عند ثبوت الحجم يزداد ضغط كمية معينة من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من ضغطه فى صفـر سلزيوس لكل ارتفـاع فى درجـة الحـرارة مـقـداره درجـة واحـدة. وهذا هو قـانون الضغط.

الصفر المطلق (صفر كلفن):

باسـتـخدام الجـهاز المبين بـشكل (٦-٧) لقيـاس حـجم الهواء المحبـوس فى درجات حرارة مختلفة.

يمكننا رسم علاقة بيانية بين الحجم ممثلا على المحور الرأسى ودرجة الحرارة مقاسة على تدريج سلزيوس ممثلة على المحور الأفقى، نحصل على خط مستقيم كما فى الشكل (٦-٩). نمد هذا الخط المستقيم على استقامته نجد إنه يقطع محور درجات الحرارة عند ($-273^{\circ}C$).

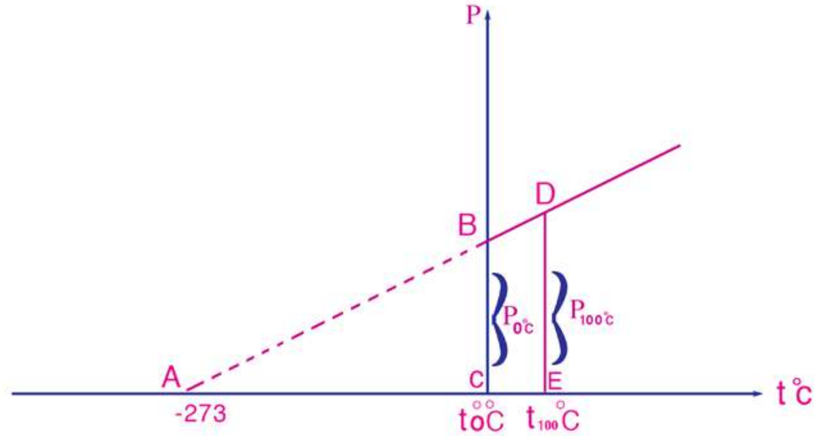


شكل (٦ - ٩)

استنتاج الصفر كلفن من قانون شارل

كما يمكن الاستعانة بالنتائج التى حصلنا عليها فى تجربة جهاز جولى وتمثيل هذه النتائج بيانيا، حيث تمثل الضغط على المحور الرأسى وتمثل درجة الحرارة مقاسة على تدريج سلزيوس على المحور الأفقى، عندئذ يتم الحصول على خط مستقيم كما فى الشكل (٦-١٠).

وعند مد هذا الخط المستقيم على استقامته يلاحظ أنه يقطع محور درجة الحرارة هو الآخر عند (-273°C)



شكل (٦ - ١٠)

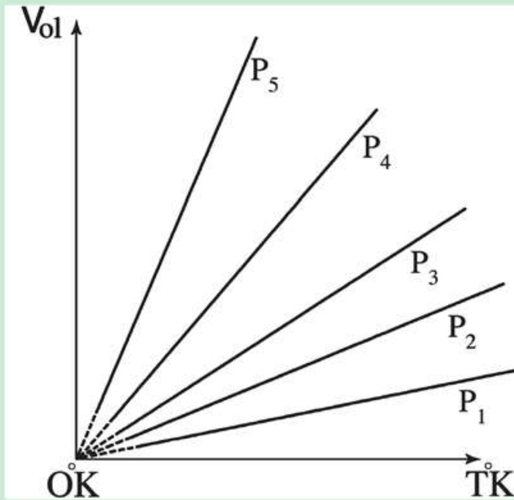
استنتاج الصفر المطلق من تجربة جولى

من الشكلين (٦-٩) و(٦-١٠) تكون أقل درجة حرارة يمكن الوصول إليها نظريا هى -273°C . هذه الدرجة تقابل ما يسمى الصفر المطلق أو صفر كلفن. وهى درجة الحرارة التى ينعدم عندها حجم وضغط الغاز المثالى. ودرجة الحرارة على مقياس كلفن قيمة موجبة دائماً بينما درجة سلزيوس °C تتدرج بين الموجب والسالب.

معلومة إثرائية

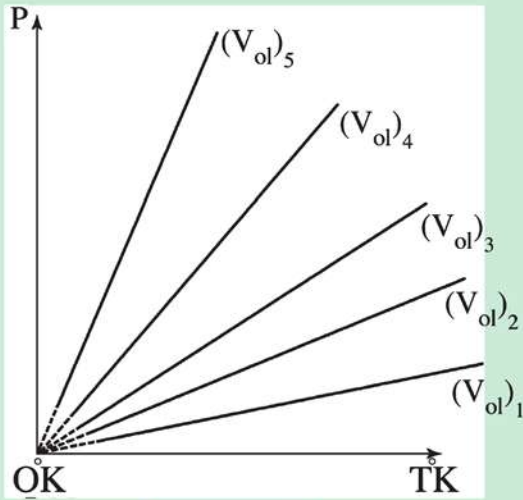
الصفر المطلق

يمكن إعـادة رسم شكلى (٦ - ٩ ، ٦ - ١٠) بحـيث يكون المحـور الأفـقى هـو درجـة الحـرارة المطلقـة. فـيكون لـدينا شكل (٦ - ١١) و شكل (٦ - ١٢)، يلاحظ أنه عند درجـة الصـفر كلفن فإن الحـجم $V_{ol} = 0$ والضـغط $P = 0$، ولكن فى الواقع فإنه مع التبـريد الشـديد لا تظل المادة بحـالتـها الغـازية، بل تتـحول إلـى سـائل وأحيـانا صلب، ومن ثم لا تخضع لقوانين الغازات. ولذلك فإن تعريف الغاز المثالى هو الغاز الذى يتلاشى حجمه وضغطه عند درجة الصفر المطلق. ويلاحظ أننا أهملنا القوى بين الجزيئات وحجم تلك الجزيئات بالنسبة للإناء فى استنتاج قوانين الغاز المثالى وهو ما يسمى بالغاز الكامل.



(شكل ٦ - ١١)

علاقة الحجم بدرجة الحرارة المطلقة عند ضغط ثابت



(شكل ٦ - ١٢)

علاقة الضغط بدرجة الحرارة المطلقة عندحجم ثابت

ولإيجاد العلاقة بين تدريج سلزيوس وتدريج كلفن نأخذ فى الاعتبار ما يلى:

$(-273^\circ C)$ تقابل $0^\circ K$

$0^\circ C$ يقابل $273^\circ K$

$100^\circ C$ تقابل $373^\circ K$

أى أن: (6 - 5)

$$T(^\circ K) = 273 + t(^\circ C)$$

صور أخرى لقانونى شارل وجولى (الضغط):

١-يمكن الاستعانة بالشكل (٦-٩) فى الحصول على صيغة أخرى لقانون شارل. من تشابه المثلثين ABC، ADE حيث:

$BC = (V_{ol})_1$

$DE = (V_{ol})_2$

$AC = T_1$

$AE = T_2$

$V_{ol} \propto T$

$\frac{V_{ol}}{T} = const$

$$\therefore \frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2} \qquad (6 - 6)$$

وبذلك يكون

عند ثبوت الضغط يتناسب حجم كمية معينة من غاز تناسبا طرديا مع درجة حرارته على تدريج كلفن. وهذه صيغة أخرى لقانون شارل.

٢-وبالاستعانة بالشكل (٦-١٠) وبنفس طريقة تشابه المثلثين يمكن الحصول على العلاقة:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \qquad (6 - 7)$$

أى أن:

$$\frac{P}{T} = const$$

وبذلك يكون:

$$P \propto T$$

عند ثبوت الحجم يتناسب ضغط كمية معينة من غاز تناسبا طرديا مع درجة حرارته على تدريج كلفن. وهذه صيغة أخرى لقانون الضغط.

القانون العام للغازات:

ذكرنا فيما سبق أن سلوك غاز ما يمكن وصفه بمتغيرات ثلاثة هى الحجم والضغط ودرجة الحرارة، والعلاقة التى تربط بين المتغيرات الثلاثة هى القانون العام للغازات.

ويمكن استنتاج القانون العام للغازات كما يلى:

من قانون بويل $V_{ol} \propto \frac{1}{P}$ عند ثبوت درجة الحرارة

ومن قانون شارل $V_{ol} \propto T$ عند ثبوت الضغط

من ذلك نتبين أن: $V_{ol} \propto \frac{T}{P}$

ومن هذه العلاقة: $V_{ol} = const \times \frac{T}{P}$

أى أن: $\therefore \frac{P V_{ol}}{T} = const$

$$\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2} \qquad (6 - 8)$$

وهذا هو القانون العام للغازات.

أمثلة:

١- إذا كان حجم غاز فى درجة صفر سلزيوس $450\ cm^3$ فما حجمه فى $91^\circ C$ بفرض أن ضغطه يظل ثابتا؟

الحـــل:

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{450}{(V_{ol})_2} = \frac{273}{273+91}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{450 \times 364}{273} = 600\ cm^3$$

٢- سخن نصف لتر من الهيدروچين من $10^\circ C$ إلى $293^\circ C$ فكم يكون حجمه بفرض أن ضغطه ثابت؟

الحـــل:

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{500}{(V_{ol})_2} = \frac{273 + 10}{273 + 293}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{500 \times 566}{283} = 1000\ cm^3 = 1\ liter$$

٣- إذا كان ضغط غاز فى $26^\circ C$ هو $59.8 cmHg$ فما ضغطه عند $130^\circ C$ مع العلم بأنه ثابت الحجم؟

الحـــل:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{59.8}{P_2} = \frac{273 + 26}{273 + 130}$$

$$P_2 = \frac{59.8 \times 403}{299} = 80.6\ cmHg$$

٤- مقدار من غاز يشغل فى درجة $27^\circ C$ وتحت ضغط $60cmHg$ حجما قدره $380\ cm^3$ فكم يكون حجمه عند معدل الضغط ودرجة الحرارة(S.T.P)؟

الحـــل:

(S.T.P) معناه أنه تحت ضغط 76 cmHg وفى درجة حرارة $0^\circ C$ أو $273^\circ K$

$$\frac{P_1 (V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2 (V_{ol})_2}{T_2}$$

$$\frac{60 \text{ X } 380}{300} = \frac{76 \times (V_{ol})_2}{273}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{60 \text{ X } 380 \text{ X } 273}{76 \text{ X } 300} = 273\ cm^3$$

٥- مقدار من غاز النيتروجين حجمه 15 liters عندما يكون الضغط الواقع عليه 12 cmHg ومقدار من غاز الأكسجين حجمه 10 liters عندما يكون الضغط الواقع عليه 50cmHg وضعا فى إناء مقفل سعته 5 liters ، فإذا كانت درجة حرارة الغازين ثابتة أثناء خلطهما فأوجد ضغط مزيجهما.

الحـــــل:

كل من الغازين يشغل بعد الخلط سعة الإناء أى 5 liters

لإيجاد ضغط غاز النيتروچين بعد الخلط يطبق القانون :

$$P V_{ol} = P_1 (V_{ol})_1$$

$$\therefore 12 \times 15 = P_1 \times 5$$

$$P_1 = 36 \text{ cmHg}$$

لايجاد ضغط غاز الاكسچين نطبق العلاقة

$$PV_{ol} = P_2 (V_{ol})_2$$

$$P_2 = \frac{10 \times 50}{5} = 100 \text{ cm Hg}$$

وبما أن ضغط مخلوط غازين يساوى مجموع الضغطين الجزئيين لهما فإن ضغط مخلوط الغازين

$$P = P_1 + P_2 = 36 + 100 = 136 \text{ cm Hg}$$

تلخيص

١-التعاريف والمفاهيم الأساسية :

- جزيئات الغاز فى حالة حركة عشوائية مستمرة تتصادم مع بعضها البعض كما تتصادم مع جدران الإناء الذى يحتويها.
- توجد مسافات فاصلة بين جزيئات الغاز تعرف بالمسافات الجزيئية.
- قانون بويل : عند ثبوت درجة الحرارة يتناسب حجم كمية معينة من غاز تناسباً عكسياً مع ضغطها.
- قانون شارل : عند ثبوت الضغط يزداد حجم مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمه الأصلى عند $0\ ^\circ C$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقدارها درجة واحدة.

أو يتناسب حجم كمية ثابتة من الغاز مع درجة الحرارة المطلقة تحت ضغط ثابت.

- قانون الضغط (جولى) : عند ثبوت الحجم يزداد ضغط مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ مــن ضغطه الأصلى عند $0\ ^\circ C$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره درجة واحدة.

أو يتناسب ضغط كمية ثابتة من الغاز مع درجة الحرارة المطلقة تحت حجم ثابت.

- معامل زيادة الضغط بزيادة درجة الحرارة عند ثبوت الحجم = معامل زيادة الحجم بزيادة درجة الحرارة عند ثبوت الضغط = $\frac{1}{273}$ لكل الغازات
- درجة الحــرارة المطلقة (على مـقيـاس كلفن) = درجـة الحـرارة على تدريج سلزيوس مضافا إليها 273

٢-القوانين الهامة:

إذا كان V_{ol} حجم كمية معينة من غاز ، P ضغطها T درجة حرارتها على مقياس كلفن فــإن:

- قانون بويل $PV_{ol} = const$ عند ثبوت درجة الحرارة.

- قانون شارل $\frac{V_{ol}}{T} = const$ عند ثبوت الضغط

- قانون الضغوط $\frac{P}{T} = const$ عند ثبوت الحجم.

- القانون العام للغازت $\frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2} = \frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1}$

- أى أن $\frac{P\,V_{ol}}{T} = const$

- معامل ازدياد الحجم بازدياد درجة الحرارة عند ثبوت الضغط.

$$\alpha_v = \frac{(V_{ol})_{t^\circ C} - (V_{ol})_{0^\circ C}}{(V_{ol})_{0^\circ C} \times \Delta t^\circ{}_C}$$ لكل درجة

- معامل ازدياد الضغط بازدياد درجة الحرارة عند ثبوت الحجم.

$$\beta_P = \frac{P_{t^\circ C} - P_{0^\circ C}}{P_{0^\circ C} \times \Delta t^\circ{}_C} = \frac{1}{273}$$ لكل درجة

أسـئلة وتمـارين

أولاً: أكمل

أى العبارات تكمل الجمل التالية لها:

(أ) يزيد بمقدار صغير. (ب) يقل بمقدار صغير .

(جـ) يظل ثابتا. (د) يتضاعف.

(هـ) ينقص إلى النصف.

١- إذا تضاعف ضغط كمية معينة من غاز عندما تكون درجة الحرارة ثابتة فإن الحجم................

٢- إذا انتقل بارومتر من مستوى سطح البحر إلى أعلى جبل فإن ارتفاع الزئبق فى البارومتر ....

٣- إذا كان ضغط الغاز ثابتا وقلت درجة حرارته على تدريج كلفن إلى النصف فإن حجمه..........

ثانيا تخير الإجابة الصحيحة

١- زيادة درجة حرارة اطار السيارة أثناء القيادة يؤدى إلى:

١) زيادة ضغط الهواء داخل الاطار

٢) زيادة حجم الهواء داخل الاطار

٣) نقص مساحة سطح الجزء من العجلة الملاصقة للطريق

اختر الحرف المناسب فيما يلى للإجابة

(أ) (١، ٢، ٣) صحيحة (ب) (١، ٢) صحيحة

(جـ) (١، ٣) صحيحة (د) (٣) فقط صحيحة

(هـ) (١) فقط صحيحة

٢- درجة حرارة جسم الإنسان على مقياس كلفن لدرجات الحرارة تساوى تقريبا.

(أ) 0° K (ب) 37°K

(جـ) $100\ ^\circ$K (د) 373°K

(هـ) 310°K

٣- يتناسب حجم كمية محدودة من غاز ما:

(أ) عكسيا مع درجة حرارته عند ثبوت ضغطه

(ب) عكسيا مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته

(جـ) طرديا مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته

(د) طرديا مع درجة حرارته عند تغير الضغط

(هـ) عكسيا مع ضغطه عند تغير درجة حرارته

٤- ضغط الغاز عند $10^\circ C$ يتضاعف إذا تم تسخين الغاز تحت حجم ثابت إلى:

(أ) $20^\circ C$ (ب) $80^\circ C$

(جـ) $160^\circ C$ (د) $293^\circ C$

(هـ) $410^\circ C$

٥- إذا انضغط غاز ببطء إلى نصف حجمه الأصلى فإن :

(أ) درجة حرارة الغاز ستتضاعف

(ب) درجة حرارة الغاز ستنقص إلى نصف قيمتها

(جـ) ضغط الغاز سيصل إلى النصف

(د) سرعة الجزيئات تتضاعف

(هـ) ضغط الغاز سيتضاعف

ثالثا: أسئلة المقال:

١- كيف تبين بالتجربة أن معامل التمدد الحجمى لجميع الغازات واحد عند ثبوت الضغط؟

٢- صف طريقة لإيجاد معامل ضغط الغاز عند ثبوت حجمه وإنه ثابت لجميع الغازات.

٣- كيف تحقق قانون بويل عمليا؟

٤- كيف تبين بالتجربة أن ضغط الغاز يزداد بارتفاع درجة الحرارة عند ثبوت الحجم؟

٥- كيف تعين صفر كلفن ؟

٦- اشرح معنى صفر كلفن ودرجة الحرارة على تدريج كلفن.

٧- استنبط القانون العام للغازات رياضيا.

رابعا: تمـــــارين:

١- لتـر غـاز فى $10^\circ C$ رفـعت درجـة حـرارته وهو ثابت الضـغط إلى $293^\circ C$ فاوجد حجمه. (2 Liter)

٢- إناء مـقـفل به هواء فى درجـة $0^\circ C$ برد إلى $(-91^\circ C)$ فـصـار الضـغط به 40cmHg فكم يكون ضغط الهواء عند $0^\circ C$

(60 cm Hg)

٣- كـمـيـة مــن الأكسـچـين تشـغـل فــى $91^\circ C$ وتحــت ضغـط 84 cmHg $760\ cm^3$ فكم يكون حـجـمـها فى درجـة $0^\circ C$ وتحـت ضغـط 76 cm Hg (فى معدل الضغط ودرجة الحرارة S.T.P) $(630\ cm^3)$

٤- دورق به هواء سخن من $15^\circ C$ إلى $87^\circ C$ فكم نسبة حجم ما خرج منه من الهواء إلى ما كان موجودا به ؟ (25%)

٥- إطار سيارة به هواء ضغطه 1.5 Atm فى يوم كانت درجة حرارته $(-3^\circ C)$ احسب ضغط الهواء فى الإطار عندما ترتفع درجة الحرارة إلى $51^\circ C$ بفرض ثبوت الحجم. (1.8 Atm)

٦- فقاعة من الهواء علي عمق 10.13m تحت سطح ماء عذب حجمها $28\ cm^3$ احسب حجمها قبل أن تصل إلى سطح الماء مباشرة بفرض أن درجة حرارة الماء عند العمق المشار إليه هى $7^\circ C$ ودرجة الحرارة عند السطح $27^\circ C$ (اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية $10 ms^{-2}$ والضغط الجوى $1.013 \times 10^5 N/m^2$ وكثافة الماء $1000 kg/m^3$).

$(60\ cm^3)$

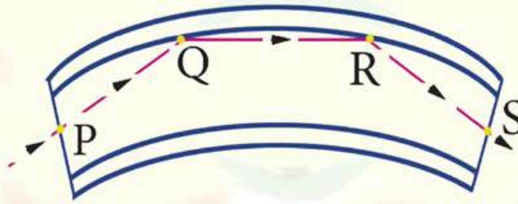
(١) علل : يسهل رؤية صورتك المنعكسة على زجاج نافذة حجرة مضيئة ليلاً عندما يكون خارج الحجرة ظلام شديد. فى حين يصعب تحقيق ذلك نهاراً عندما يكون خارج الحجرة مضيئاً.

(٢) سقط شعاعان ضوئيان بحيث يلتقيان فى نقطة على حائل رأسى. وضع لوح زجاجى رأسى موازٍ للحائل يعترض مسار الشعاعين. هل يظل موضع نقطة تقابل الشعاعين على الحائل كما هو أم يتغير ، مع التعليل؟

(٣) فسر ما يلى مع التعليل:

- عند وضع مصدر ضوئى أزرق اللون فى مركز مكعب مصمت من الزجاج - يواجه كل وجه من أوجهه الجانبية حائل أبيض- ظهرت بقعة مضيئة دائرية على كل حائل، وعند استبدال مصدر الضوء الأزرق بآخر أحمر اللون تغير شكل البقعة المضيئة على الحائل من الشكل الدائرى إلى شكل المربع.

(٤) الشكل التالى يوضح ليفة ضوئية زجاجية مغطاة بطبقة خارجية من نوع من الزجاج معامل انكساره أقل من زجاج القلب، فإذا كانت هذه الليفة يمر بها شعاع ضوئى كما هو موضح بالشكل.

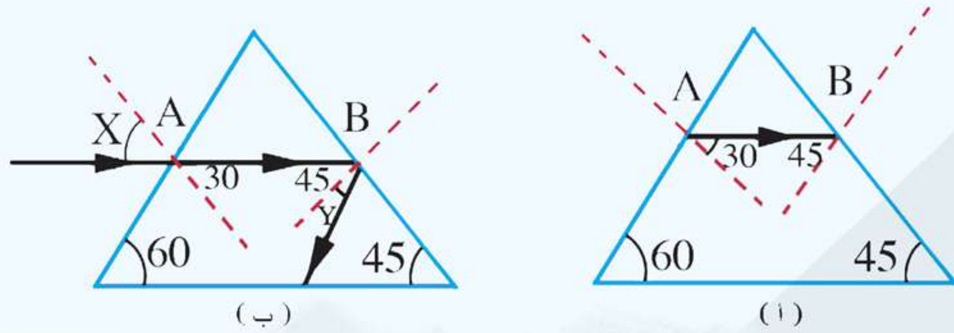


١) اشرح لماذا لم يتغير اتجاه شعاع الضوء عند كلاً من S,P ؟

٢) اشرح لماذا حدث للشعاع الضوئى انعكاس كلى عند R , Q ؟

٣) اشرح لماذا تفضل الليفة الضوئية المكونة من طبقتين، كما بالرسم عن تلك التى تتكون من طبقة واحدة؟

(٥) اعطى مدرس تلميذه الشكل التالى (أ) والذى يوضح مسار شعاع ضوئى من A إلى B خلال منشور زجاجى وكانت الزاوية الحرجة فى الزجاج تساوى 42° وطلب من التلميذ أن يرسم مسار الشعاع قبل أن يصل إلى A وبعد أن يترك B . الشكل (ب) يمثل محاولة التلميذ ولكن المدرس اوضح أن الزاوية x,y غير صحيحة. اقترح بدون حسابات التغيير اللازم عمله لتصحيح الزاوية x والزاوية y. علل لما تقول.



(٦) فى منشور ثلاثى زاوية رأسه 60° ومعامل انكسار مادته $\sqrt{2}$ احسب قيمة زاوية الانحراف والسقوط فى وضع النهاية الصغرى .

(٧) سقط ضوء احادى اللون طول موجته $66 \times 10^{-8} m$ على شق مزدوج وكانت المسافة بين مركزى الفتحتين المستطيلتين $11 \times 10^{-4} m$ والمسافة الفاصلة بين الحائل والشق المزدوج 5m احسب المسافة بين مركزى هدبتين متتاليتين من نفس النوع.

(٨) وصل خرطوم من المطاط بفوهة صنبور ينساب منه الماء انسيابًا هادئًا. فسر لماذا تقل مساحة مقطع عمود الماء المنساب من الخرطوم عندما توجه فوهته رأسيًا لأسفل. بينما تزداد مساحة مقطعه عندما توجه فوهته رأسيا لأعلى.

(٩) ربط بالون مملوء بالهواء بقاع حوض من الزجاج، ثم ملىء الحوض بالماء حتى غمر البالون بالكامل. بفرض أن الحوض بمحتوياته انتقل من سطح الأرض إلى سطح القمر، ناقش مع التعليل هل يطرأ على البالون أى نوع من التغيير؟

(١٠) اذكر الشروط الواجب توافرها ليكون سريان سائل داخل انبوبة سرياناً مستقراً (هادئاً).

ثم اثبت أنه فى هذه الحالة تتناسب سرعة سريان السائل عند اى نقطة تناسباً عكسياً مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة.

(١١) شريان رئيسى نصف قطره 0.5 cm وسرعة سريان الدم فيه 0.4 m/s يتشعب إلى عدة شعيرات نصف قطر كل منها 0.2 cm وسرعة سريان الدم فيها 0.25 m/s أوجد عدد هذه الشعيرات ؟

(١٢) انبوبة ذات شعبتين مساحة مقطع أحد فرعيها ضعف الآخر وضع فيها قدر مناسب من الماء ثم صب كمية من الزيت فى الفرع المتسع حتى انخفض سطح الماء به 0.5cm احسب ارتفاع عمود الزيت بهذا الفرع إذا علمت أن كثافة الماء $1000kgm^{-3}$ وكثافة الزيت $800kgm^{-3}$.

(١٣) مكبس مائى مساحة مقطع مكبسه الصغير $4x10^{-4}$ m^2 تؤثر عليه قوة قدرها 200 N ومساحة مقطع مكبسه الكبير $20 \times 10^{-4}m^2$ احسب مقدار الكتلة اللازم وضعها فوق المكبس الكبير حتى يتزن فى مستوى افقى مع المكبس الصغير، علماً بأن عجلة الجاذبية الأرضية $10ms^{-2}$.

إرشادات الحل لأسئلة الفهم والتطبيق

١- عندما يكون خارج الغرفة إظلام تام تكون شدة الضوء النافذ من الخارج إلى داخل الغرفة منعدمة لذلك يرى الشخص صورته بفعل الجزء القليل المنعكس من الضوء داخل الغرفة على الزجاج. أما فى حالة ما يكون خارج الغرفة ضوء فإن شدة الضوء النافذ من الخارج إلى الداخل تكون أكبر من شدة الضوء المنعكس من داخل الغرفة؛ لذلك يصعب رؤية الشخص لصورته بالانعكاس.

٢- يعمل الحائل الزجاجى الرأسى عمل متوازى المستطيلات حيث يسبب إزاحة فى مسار الشعاعين الساقطين عليه بعد نفاذيهما منه، فيزداد بذلك طول المسار وتزاح نقطة تقابل الشعاعين لتصبح خلف الحائل وعلى بعد منه مساويًا لمقدار هذه الإزاحة.

٣- يتناسب معامل انكسار المادة للضوء عكسيًا مع الطول الموجى للضوء الساقط، وطبقًا للعلاقة $\sin \phi_c = \frac{1}{n}$ فإن قيمة الزاوية الحرجة للضوء تتناسب طرديًا مع الطول الموجى له. ففى حالة الضوء الأزرق وهو الطول الموجى الأقل تكون الزاوية الحرجة صغيرة فلا يستطيع الضوء أن يصل إلى الأحرف الجانبية للمكعب، حيث يحدث له انعكاسًا كليًا للداخل ويظهر الضوء النافذ كبقعة دائرية مضيئة فى كل وجه. أما فى حالة الضوء الأحمر وهو الطول الموجى الأكبر تكون الزاوية الحرجة كبيرة فيستطيع الضوء أن يصل إلى جوانب المكعب وينفذ منها دون أن يعانى انعكاسًا كليًا لذلك يظهر الضوء النافذ من كل وجه كبقعة مربعة مضيئة.

٤- أ- لم يتغير مسار الضوء عند كل من P,S ؛لأنه سقط عموديًا على كل منهما.

ب- انعكس الضوء عند كل من R,Q نتيجة سقوطه بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة.

ج- تفضل الليفة الضوئية المكونة من طبقتين عن الليفة الضوئية المكونة من طبقة واحدة للحفاظ على الشدة الضوئية للضوء المنقول بالليفة الضوئية، حيث تقوم الطبقة الثانية بانعكاس الضوء المتسرب من الطبقة الأولى انعكاسًا كليًا للداخل مرة أخرى.

٥- الزاوية X تساوى الزاوية 30° بالتقابل بالرأس ، وهذا غير صحيح؛ لأن الشعاع انتقل من وسط أقل كثافة إلى وسط أكبر كثافة، أى أن : زاوية السقوط لا بد وأن تكون أكبر من زاوية الانكسار لذلك لا بد من زيادة قيمة X عما هى عليه بالرسم. الزاوية Y تمثل زاوية انعكاس كلى لزاوية السقوط 45° وهذا يجعل الزاوية بين الشعاعين الساقط والمنعكس 90° لذلك يجب زيادة الزاوية Y حتى تصبح عمودية على الشعاع .AB

٦ -

$$\theta = \frac{A}{2} = \frac{60}{2} = 30^{\circ}$$

$$\phi = \sin^{-1}(n \times \sin\theta) = \sin^{-1}\left(\sqrt{2} \times 0.5\right) = 45^{\circ}$$

$$\alpha = 2\phi - A = (2 \times 45) - 60 = 30^{\circ}$$

٧ -

$$\Delta x = \lambda \frac{l}{d}$$

$$\Delta x = 66 \times 10^{-8} \times \frac{5}{11 \times 10^{-4}} = 3 \times 10^{-3}\,m$$

٨ - عندما توجه فوهة الخرطوم لأسفل يتحرك الماء المنساب فى اتجاه الجاذبية الأرضية فتزداد سرعته من لحظة لأخرى أثناء السقوط فتقل بذلك مساحة المقطع نظرا لثبوت معدل الانسياب$Q=Av$. وعندما توجه فوهة الخرطوم لأعلى يتحرك الماء ضد الجاذبية الأرضية فيتحرك بعجلة تقصيرية، وتقل سرعته من لحظة لأخرى فتزداد مساحة المقطع نظرا لثبوت معدل الانسياب.

٩ - يزداد حجم البالون نتيجة نقص الضغط الخارجى المؤثر عليه والمتزن مع ضغط الهواء بداخله، وذلك نتيجة نقص قيمة عجلة الجاذبية الأرضية على سطح الأرض.

١٠- راجع الفصل الخامس

-١١

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\pi\,(0.5\times10^{-2})^2\times0.4 = n\pi(0.2\times10^{-2})^2\times0.25$$

$$n = \frac{1\times10^{-5}}{1\times10^{-6}} = 10$$

-١٢

$$h_o \rho_o = h_w \rho_w$$

$$h_o = \frac{(1.5\times10^{-2})\times1000}{800} = 1.9\times10^{-2}\,m$$

-١٣

$$\frac{F}{f} = \frac{A}{a}$$

$$\frac{F}{200} = \frac{20\times10^{-4}}{4\times10^{-4}}$$

$$F = 5\times200 = 1000\,N$$

$$m = \frac{F}{g} = \frac{1000}{10} = 100\,kg$$

المواصفات الفنية

مقاس الكتاب	(٥٧ × ٨٢) سم
طبع المتن	٤ ألوان
طبع الغلاف	٤ ألوان
ورق المتن	٧٠ جم أبيض
ورق الغلاف	١٨٠ جم كوشيه أبيض
عدد الصفحات بالغلاف	١٤٠ صفحة
التجليد	بشر
الكمية	

رقم الإيداع



مطابع المقاولون العرب